Aus der Abteilung Pädiatrische Kardiologie
Ärztlicher Direktor: Professor Dr. J. Apitz
der Kinderklinik der Universität Tübingen

Angiologische Langzeitergebnisse bei Kindern nach Herzkatheterisierung durch Arteriotomie am Arm

INAUGURAL—DISSERTATION
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

der
MEDIZINISCHEN FAKULTÄT
(Klinische Medizin)
der Eberhard - Karls - Universität
Tübingen

vorgelegt von
FRIEDRICH PAUL KIRSCHBAUM
aus Creglingen

1985

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41546522_0015

Aus der Abteilung Pädiatrische Kardiologie
Ärztlicher Direktor: Professor Dr. J. Apitz
der Kinderklinik der Universität Tübingen

Angiologische Langzeitergebnisse bei Kindern nach Herzkatheterisierung durch Arteriotomie am Arm

INAUGURAL—DISSERTATION
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

der
MEDIZINISCHEN FAKULTÄT
(Klinische Medizin)
der Eberhard - Karls - Universität
Tübingen

vorgelegt von
FRIEDRICH PAUL KIRSCHBAUM
aus Creglingen

1985

Dekan:	Professor Dr. H. D. Waller
1. Berichterstatter:	Privatdozent Dr. A. A. Schmaltz
2. Berichterstatter:	Professor Dr. H. Seboldt

gedruckt bei H.- J. Köhler · Reprografischer Betrieb · Tübingen

Meinen Eltern

I N H A L T S V E R Z E I C H N I S

		Seite
1.	EINLEITUNG	5
1.1.	Geschichtlicher Überblick und Problemstellung	5
1.2.	Vorgehen bei der Arteriotomie	9
2.	MATERIAL UND METHODEN	11
2.1.	Untersuchungsmaterial	11
2.1.1.	Kontrollkollektiv	11
2.1.2.	Patienten	11
2.1.3.	Benutzte Geräte	18
2.2.	Untersuchung und Methodenbeschreibung	19
2.2.1.	Untersuchung	19
2.2.2.	Methodenbeschreibung	20
2.3.	Zur Auswertung verwendete statistische Tests	33
2.4.	Vorgehen bei der Ermittlung der angiologischen Diagnose	35
3.	ERGEBNISSE	40
3.1.	Kontrollgruppe	40
3.1.1.	Ergebnisse der Kontrollgruppe	40
3.1.2.	Feststellung von Einflüssen auf die Ergebnisse der Kontrollgruppe	43
3.2.	Ergebnisse des Patientenkollektivs	51
3.2.1.	Untersuchungsergebnisse	51
3.2.2.	Zusammenhänge zwischen Stenosehäufigkeit und verschiedenen Faktoren in Verbindung mit der Herzkatheteruntersuchung	60
3.3.	Zusätzliche Informationen aus den angiologischen Untersuchungsergebnissen	72

		Seite
4.	DISKUSSION	77
4.1.	Methoden-Diskussion	77
4.1.1.	Begründung des von uns verwendeten Seitenvergleichs	77
4.1.2.	Diskussion der angiologischen Diagnoseverfahren	79
4.1.2.1.	Aussagefähigkeit und Grenzen der Blutdruckmessung mit Hilfe der Dopplersonde	79
4.1.2.2.	Aussagefähigkeit und Grenzen der Pulsregistrierung mit Hilfe der elektronischen Oszillographie	82
4.1.2.3.	Aussagefähigkeit und Grenzen der Durchblutungsmessung mit Hilfe der Venenverschlußplethysmographie	85
4.1.3.	Vergleich der Aussagefähigkeit der beschriebenen angiologischen Methoden und Diskussion des Diagnoseschlüssels	89
4.2.	Diskussion der Kontrollgruppe	92
4.2.1.	Diskussion der Ergebnisse der Kontrollgruppe	92
4.2.2.	Diskussion zur Feststellung von Einflüssen auf die Ergebnisse der Kontrollgruppe	93
4.3.	Diskussion des Patientenkollektivs	94
4.3.1.	Diskussion der Untersuchungsergebnisse	94
4.3.2.	Diskussion der Zusammenhänge von Stenosehäufigkeit und verschiedenen Faktoren in Verbindung mit der Herzkatheteruntersuchung	100
4.3.3.	Zusammenfassender Vergleich der ermittelten Stenosehäufigkeit mit Angaben aus der Literatur	104
4.4.	Diskussion der zusätzlichen Informationen aus den angiologischen Untersuchungsergebnissen	112
4.5.	Schlußfolgerungen	113
5.	ZUSAMMENFASSUNG	115
6.	LITERATURVERZEICHNIS	118
7.	LEBENSLAUF	131

Abkürzung	Einheiten	Bedeutung der Abkürzungen
p_{re}	mm Hg	systolischer Armarteriendruck rechts
p_{li}	mm Hg	systolischer Armarteriendruck links
Q_p	-	$\frac{p\ re}{p\ li}$ b. Rechtshänder; $\frac{p\ li}{p\ re}$ b. Linkshänder
Δp	mm Hg	Druckdifferenz re-li b. Rechtshänder, li-re b. Linkshänder
G/P_{re}	-	Quotient: Gipfelzeit/Periodendauer für den re bzw. li Arm
G/P_{li}	-	
$Q_{G/P}$	-	$\frac{G/P\ re}{G/P\ li}$ b. Rechtshänder; $\frac{G/P\ li}{G/P\ re}$ b. Linkshänder
ΔOI	mm Hg	oszillometrische Indexverschiebung re-li bei Rechtshänder, li-re bei Linkshänder
PF_{re}	ml/min/100ml Gewebe	Peak Flow des rechten Armes
PF_{li}	ml/min/100ml Gewebe	Peak Flow des linken Armes
Q_{PF}	-	$\frac{PF\ re}{PF\ li}$ b. Rechtshänder; $\frac{PF\ li}{PF\ re}$ b. Linkshänder
PF-time	sec	Zeit bis zum Erreichen des Peak Flow
K_{re}	kPa	grobe Kraft der rechten Hand
K_{li}	kPa	grobe Kraft der linken Hand
Q_K	-	$\frac{K\ re}{K\ li}$ b. Rechtshänder; $\frac{K\ li}{K\ re}$ b. Linkshänder
ΔAL	cm	Armlängendifferenz re-li bei Rechtshänder, li-re bei Linkshänder
ΔOA	cm	Oberarmumfangsdifferenz re-li, bzw. li-re
ΔUA	cm	Unterarmumfangsdifferenz re-li, bzw. li-re

Tabelle 1: Bedeutung der am häufigsten verwendeten Abkürzungen (Fortsetzung S.4)

Abkürzung	Bedeutung der Abkürzung
re	rechts
li	links
OZ	Oszillogramm
VVP	Venenverschlußplethysmogramm
$\bar{x}$	Mittelwert
s	Standardabweichung
n	Anzahl bzw. Gruppengröße
AVK	arterielle Verschlußkrankheit
ISTA	Aortenisthmusstenose (Isthmusstenose der Aorta)
A.	Arteria
p	Wahrscheinlichkeit (sofern nicht anders angegeben) (im Zusammenhang mit dem Fisher-Yates-Test, vgl. 2.3.)
α	Irrtumswahrscheinlichkeit
r	Produktmoment-Korrelationskoeffizient

Tabelle 1 (Fortsetzung): Bedeutung der am häufigsten verwendeten Abkürzungen

1. EINLEITUNG

1.1. Geschichtlicher Überblick und Problemstellung

Die Herzkatheteruntersuchung ist heute eine gebräuchliche und sehr aussagefähige Methode bei der Beurteilung der anatomischen Strukturen des Herzens und seiner Funktionen. Es ist jedoch erst 55 Jahre her, daß Werner FORSSMANN im Jahre 1929 als erster eine Herzkatheteruntersuchung durchführte (31). Im Selbstversuch führte er einen Katheter über einen venösen Zugang in der linken Ellenbeuge in den rechten Vorhof seines Herzens ein. Dabei war er von der Ungefährlichkeit dieses Eingriffs voll überzeugt. Forssmann sagte selbst: "People often ask me if I wasn't afraid. I can honestly say no, since there was no danger in inserting the ureteral catheter as long as it was done gently " (79). (Die Leute fragen mich oft, ob ich keine Angst gehabt hätte. Ich kann das mit gutem Gewissen verneinen, denn es besteht beim Einführen des Uretheren-Katheters keine Gefahr, solange es feinfühlend gemacht wird.)
Nur durch diese Überzeugung war es ihm möglich, sein Vorhaben durchzuführen, da die Menschen seiner Umgebung glaubten, daß dies eine äußerst gefährliche Untersuchung sei. Forssmann verstieß mit seinem Experiment auch gegen die damals vorherrschende strenge, autoritäre und dogmatische Lehrmeinung, die festlegte, was möglich sei und was nicht (79).
Trotz seines erfolgreichen Versuches wurde ihm nur wenig Anerkennung zuteil. So kam es, daß im darauffolgenden Jahrzehnt diese Methode nur sporadisch von Tschechen und Portugiesen angewendet wurde. Erst durch die Studien von COURNAND und RANGES im Jahre 1941 wurde allgemeines Interesse geweckt (24).
1947 folgten weitere Studien von BING et al. (8), DEXTER et al. (27) und 2 Jahre später von COURNAND et al. (22),

die wiederum als Grundlage für weitere Untersuchungen dienten (47).
In zunehmendem Maß wurde die Herzkatheterisierung auch bei Kindern mit angeborenen Herzfehlern durchgeführt (28, 62, 65, 77, 83, 86).

Die Erforschung des linken Herzens durch retrograden Herzkatheter läßt sich bis zum Jahr 1861 zurückverfolgen. Bei einem stehenden, nicht anästhesierten Pferd zeichneten damals CHAUVEAU und MAREY Druckverlaufskurven des linken Ventrikels auf (21, 51).
Beinahe 100 Jahre später berichteten ZIMMERMANN et al. (88) im Jahr 1950 als erste, daß eine Herzkatheterisierung über einen retrograden Zugang zum linken Herzen auch beim Menschen durchgeführt wurde.

Im Laufe der Jahre wurde die Herzkatheteruntersuchung durch die zunehmende Erfahrung auf diesem Gebiet immer mehr verfeinert und aussagefähiger.
So wurden zum Beispiel Indikatorsubstanzen eingeführt, von denen das Röntgenkontrastmittel in der selektiven Angiokardiographie die größte Verbreitung gefunden hat, hämodynamische Normalwerte bei Kindern wurden ermittelt, und es wurde möglich, Herzgeräusche intrakardial zu registrieren. Der Blutsauerstoffgehalt kann heute ohne Blutentnahme mit Hilfe des Fiberoptikkatheters bestimmt werden (63).
Einen weiteren Fortschritt bedeutete die Anwendung der perkutanen Kathetereinführung bei Säuglingen (56) und schließlich bei Neugeborenen (20), so daß unter bestimmter Voraussetzung auf Venae sectio bzw. Arteriotomie verzichtet werden kann.
In bestimmten Situationen erlauben Herzkathetereingriffe auch den Verzicht auf chirurgische Maßnahmen, z.B. kann bei Transposition der großen Arterien (TGA) durch eine Ballonatrioseptostomie nach Rashkind in den ersten Lebenstagen eine bessere Durchmischung der Blutkreisläufe erreicht werden (35).

Der Einsatz verbesserter Röntgengeräte und elektronischer Datenverarbeitung ermöglichte es, daß besonders detaillierte zweidimensionale angiographische Bilder von anatomischen Strukturen des Herzens und der großen Gefäße gewonnen werden können (Cine-Technik) (63).

Das große Spektrum von Einsatzmöglichkeiten der Herzkatheteruntersuchung hat dazu geführt, daß diese Methode immer häufiger eingesetzt wird, um

1. die Diagnostik angeborener oder erworbener Herzfehler zu vervollständigen bzw. solche auszuschließen
2. funktionelle Aussagen zu ermöglichen und deren zeitlichen Ablauf zu untersuchen
3. die Effektivität chirurgischer Maßnahmen zu beurteilen (23, 63).

Die Indikationsstellung zu venösem oder retrogradem Herzkatheter bzw. ob eine transseptale Punktion des linken Ventrikels erfolgen soll, ist abhängig vom Herzvitium, der klinischen Fragestellung, von der Methode, die im Team eingeführt ist und auch von der Größe des Kindes (ein transseptaler Linksherzkatheter kann z.B. erst ab einem Körpergewicht von etwa 7 kg durchgeführt werden, da das Gefäß zum Einführen des Spezialkatheters mindestens einen Durchmesser von 6,5 French haben soll). Zur genaueren Indikationsstellung verweisen wir auf die Literatur (54, 67).
Der Zugang zur Arterie bei retrogradem Herzkatheter kann entweder durch Arteriotomie oder durch perkutane Arterienpunktion erreicht werden. Seit die perkutane Arterienpunktion wegen ihrer besseren Handhabung in die Klinik eingeführt wurde, wurden die Arteriotomien seltener. So erfolgt z.B. der Zugang zur A. femoralis fast ausschließlich durch perkutane Arterienpunktion. Schwierigkeiten bereitet jedoch die Punktion kleiner Gefäße, wie sie z.B. am Arm von Säuglingen vorkommen. Da jedoch der Herzkatheter vom Arm

aus besser steuerbar ist, wird vermutlich auch in Zukunft die Notwendigkeit einer Arteriotomie am Arm bestehen, wie z.B. bei der Aortenisthmusstenose der Säuglinge.

Durch die häufige Anwendung der Herzkatheterisierung ist auch das Wissen um die möglichen Nachteile bzw. Komplikationen, die durch diese Methode entstehen, von zunehmender Bedeutung.
Über Komplikationen während oder kurz nach der Herzkatheteruntersuchung wird berichtet, daß in seltenen Fällen Arrhythmien, Perforation mit Herzbeuteltamponade, Thrombenbildung, Azidose, Schock und/oder starker Blutdruckabfall, Abknicken des Katheters etc. vorkommen können, die jedoch bei entsprechender Therapie meist gut beherrscht werden können.
Wir verweisen hier auf die zahlreiche Literatur (13, 30, 37, 48, 54, 63, 67, 78). Eine häufige in der Literatur beschriebene Komplikation bei retrogradem Herzkatheter ist eine Veränderung der als Zugang zum Herzen dienenden Arterie (13, 17, 19, 34, 38, 39, 52, 78, 82, 83, 84). Es hat sich gezeigt, daß die Arteriotomie bzw. perkutane Arterienpunktion teilweise Durchblutungsstörungen der entsprechenden Extremität zur Folge haben kann, die auf Stenosierungen oder Okklusionen durch arterielle Thromben zurückzuführen sind.
Systematische Untersuchungen, die diese Langzeitfolgen arterieller Komplikationen erfassen, sind selten und beschränken sich meist auf die Erfassung des Pulsstatus und des Blutdruckes (2, 40).

In dieser Arbeit soll durch Erfassen klinischer und verschiedener apparativ gewonnener haemodynamischer Parameter untersucht werden, inwieweit das Einführen eines retrograden Herzkatheters durch Arteriotomie am Arm bei Kindern angiologische Spätkomplikationen nach sich zieht, und ob eine Abhängigkeit der Häufigkeit des Auftretens von bestimmten

Faktoren festgestellt werden kann.
Im Anschluß daran werden unsere Ergebnisse mit denen der Literatur verglichen.

1.2. Vorgehen bei der Arteriotomie am Arm

Nach Praemedikation der Kinder (z.B. Sedativa oder Allgemeinnarkose) wird der entsprechende Hautbezirk in der regio axillaris oder am Oberarm mit einem Desinfektionsmittel gereinigt und mit sterilen Tüchern abgedeckt. Nachdem die Haut mit einem Lokalanästhetikum infiltriert wurde, wird ein ca. 2 cm langer parallel zur Arterie verlaufender Hautschnitt etwa 1-2 cm distal der Achselfalte bzw. im proximalen Drittel des Oberarmes gesetzt. Nach stumpfer Abpräparation des darüberliegenden Gewebes wird die Arterie auf eine Länge von etwa 2-3 cm sauber dargestellt und mobilisiert, um sie dann distal und proximal der Arteriotomiestelle mit je einem Seidenfaden anzuschlingen. Dadurch können mögliche Blutungen zum Stehen gebracht werden. Mit einer spitzen Schere wird eine quere Schnittinzision gesetzt, die möglichst klein sein soll, jedoch ausreichend groß, so daß der Katheter ohne Einreißen der Arterienwand eingeführt werden kann (16). In den distalen Teil der Arterie wird 2 ml einer Heparin/Kochsalzlösung (50 Einheiten pro kg Körpergewicht) gespritzt, um Thrombenbildungen zu verhindern.
Dann wird der Herzkatheter eingeführt, und je nach Indikation werden die entsprechenden Untersuchungen durchgeführt (Sauerstoffsättigungsbestimmungen aus verschiedenen Teilen des Herzens und Gefäßsystems, Druckmessungen, Angiokardiographie etc.).
Nach Beendigung der Untersuchungen wird der Katheter bis kurz unterhalb des proximalen Seidenfadens zurückgezogen, so daß dieser vorsichtig angezogen werden kann, um unkontrollierte Blutungen zu vermeiden. Jetzt wird der Katheter ganz

entfernt. Zunächst wird der proximale Seidenfaden wieder gelockert, damit die Arterie kurz und kräftig bluten kann, um sicherzustellen, daß alle Blutgerinnsel, die sich um den Katheter gebildet haben, herausgespült werden. Anschließend wird der distale Seidenfaden gelockert, um auch hier eine Blutung zu ermöglichen. Die Arterie wird mit atraumatischem Nahtmaterial aus Seide oder monofilem Kunstfaden durch eine U-Naht verschlossen. Dadurch entsteht ein guter Kontakt zwischen der Intima beider Schnittränder. Außerdem wird darauf geachtet, daß alle Arterienwandschichten mit der Nadel erfaßt werden. Bei Undichtigkeiten des Gefäßverschlusses werden je nach Bedarf weitere Einzelknopfnähte gesetzt. Abschließend wird der Hautschnitt verschlossen und steril abgedeckt (54, 82).

2. MATERIAL UND METHODEN

2.1. Untersuchungsmaterial

2.1.1. Kontrollkollektiv

Um die Ergebnisse unserer angiologischen Untersuchungen, die wir bei den Kindern des Patientenkollektivs erhalten haben, einordnen zu können, d.h. um für jedes Kind eine Gefäßdiagnose finden zu können, haben wir Normalwerte ermittelt. Dazu untersuchten wir gefäßgesunde Kinder, die noch nie retrograd katheterisiert wurden, unter den gleichen Bedingungen wie die Kinder des Patientenkollektivs.
Unser Kontrollkollektiv umfaßte 37 Kinder (20 Jungen und 17 Mädchen).

Dabei versuchten wir, im Kontrollkollektiv eine ähnliche Altersverteilung zu erhalten wie im Patientenkollektiv (siehe Abb. 1 und 2).

Das Durchschnittsalter betrug 9,9 Jahre. Das älteste Kind war 16 Jahre, das jüngste 3,8 Jahre alt.

Ein Teil der Kinder kam aus der Kinderklinik, wo sie wegen leichterer Krankheiten, die nicht das Herz-Kreislaufsystem betrafen, behandelt wurden.
Ein anderer Teil kam aus der kardiologischen Ambulanz der Kinderklinik, hatte jedoch keine Krankheit, die Einfluß auf unsere angiologischen Ergebnisse hätte nehmen können. Die restlichen Kinder waren völlig gesund.

2.1.2. Patienten

Im Zeitraum von Januar 1971 bis Mai 1981 wurden in der kardiologischen Abteilung der Tübinger Universitätskinderklinik 586 Kinder (Geburtsjahrgänge 1956 - 1980) ein- oder

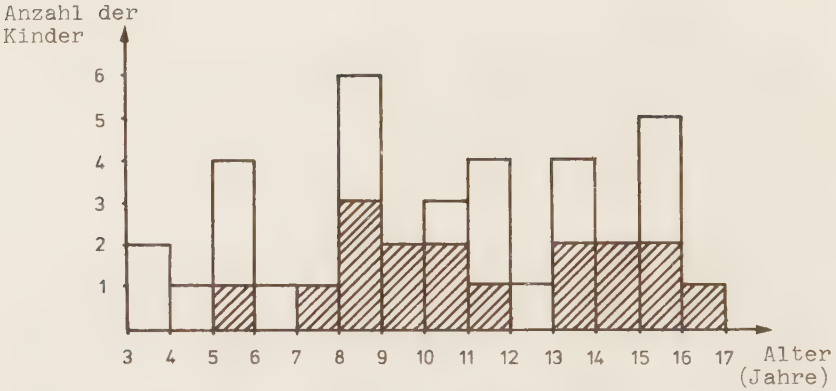

Abbildung 1: Alters- und Geschlechtsverteilung der Kontrollgruppe

männlich weiblich

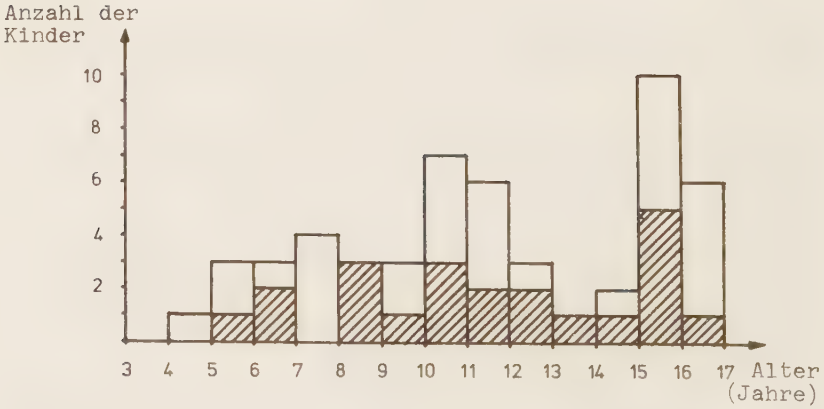

Abbildung 2: Alters- und Geschlechtsverteilung des Patientenkollektivs zum Zeitpunkt der angiologischen Untersuchung

männlich weiblich

mehrmals retrograd herzkatheterisiert. Es handelte sich dabei um Kinder, deren Herzkrankheit in der Zwischenzeit größtenteils operativ oder medikamentös versorgt wurde, und die sich dann in regelmäßigen Abständen in der kardiologischen Ambulanz zu Kontrolluntersuchungen vorstellen. Im Anschluß an solche Kontrolluntersuchungen führten wir unsere angiologischen Untersuchungen durch. Für diese Untersuchung kamen nur Kinder in Frage, die 4 Jahre alt oder älter waren, da von jüngeren Kindern die für die Untersuchung notwendige Kooperation nicht erwartet werden konnte. Patienten, die älter als 16 Jahre waren, schieden ebenfalls für die Untersuchung aus, da sie nicht mehr von der Kinderklinik, sondern von der kardiologischen Abteilung einer medizinischen Klinik weiterbetreut werden.
So ergab sich ein Kollektiv von 417 Kindern (Jahrgänge 1965 - 1977).

Von diesen 417 Kindern waren zum Zeitpunkt unserer Untersuchung 92 Kinder (=22%) verstorben. Ein Zusammenhang zwischen Herzkatheteruntersuchung und Todesursache war nicht zu erkennen.

Weitere 54 Kinder (=13%) mit Aortenisthmusstenose (ISTA) mußten von unserer Untersuchung ausgeschlossen werden, da die Mißbildung der Aorta bzw. deren operative Korrektur die A. subclavia sinistra mit einbeziehen kann, was wiederum zu veränderten Durchblutungswerten des linken Armes führen kann. Dadurch kann ein Seitenunterschied entstehen, der von uns fälschlicherweise als Katheterstenose interpretiert werden könnte.

89 Kinder (=21%) konnten aus anderen Gründen nicht zur Untersuchung einbestellt werden:

- weil ihnen die Untersuchung nicht zugemutet werden konnte (entweder waren sie erst vor kurzem zur kardiologischen Kontrolluntersuchung erschienen, oder die Entfernung

zwischen ihrem Wohnort und der Klinik war zu groß),
- weil der Kontakt zu den Eltern abgebrochen war (unbekannt verzogen, seit Jahren nicht mehr zur regelmäßigen Kontrolluntersuchung erschienen oder ärztliche Betreuung von einer anderen Stelle aus),
- weil andere Erkrankungen vorlagen (außer ISTA), die Einfluß auf unsere Untersuchungsergebnisse hätten,
- weil die Daten des Herzkatheterprotokolls unvollständig waren.

Von den restlichen 182 Kindern (44%) die für unsere Untersuchung in Frage kamen, waren 78 vom Arm und 125 vom Bein aus retrograd katheterisiert worden. 21 dieser Kinder wurden sowohl vom Arm als auch vom Bein aus katheterisiert.

Von diesen 78 vom Arm aus katheterisierten Kindern folgten 54 Kinder der Einbestellung (=69,2% der Einbestellten) und wurden von uns angiologisch untersucht.

2 Kinder hatten jeweils 2 retrograde Herzkatheter erhalten. Da es nicht möglich war, die angiologischen Ergebnisse eindeutig einer Herzkatheteruntersuchung zuzuordnen, wurden die beiden Kinder nicht ins Patientenkollektiv aufgenommen und ihre Ergebnisse im Anschluß gesondert betrachtet.

Aus den Herzkatheterprotokollen erhielten wir die für unsere Fragestellung wichtigen Informationen:

1. Datum der Herzkatheteruntersuchung, mit dessen Hilfe wir das Alter der Patienten zum Zeitpunkt der Herzkatheteruntersuchung bzw. den Zeitraum zwischen Herzkatheteruntersuchung und angiologischer Untersuchung ermitteln konnten:
   Das Durchschnittsalter zum Zeitpunkt der Herzkatheteruntersuchung betrug 3,9 Jahre, das jüngste Kind war

5 Tage alt, das älteste 10 Jahre. Abbildung 3 zeigt die Altersverteilung zum Zeitpunkt der Herzkatheteruntersuchung.
Das Durchschnittsalter zum Zeitpunkt der angiologischen Untersuchung war 11,5 Jahre. Das jüngste Kind war 4,7 Jahre, das älteste 16,9 Jahre alt. In Abbildung 2 ist die Altersverteilung zum Zeitpunkt der angiologischen Untersuchung graphisch dargestellt.
Abbildung 4 zeigt die Häufigkeitsverteilung des zeitlichen Abstandes zwischen Herzkatheteruntersuchung und angiologischer Untersuchung. Im Durchschnitt betrug dieser Abstand 7,6 Jahre. Der kürzeste Abstand war 3,1 Jahre, der längste 12,6 Jahre.

2. Dauer der Herzkatheteruntersuchung:
Durchschnittlich dauerte eine Herzkatheteruntersuchung 48 Minuten. Die kürzeste Untersuchung dauerte weniger als eine Viertelstunde, die längste 144 Minuten. Die Häufigkeitsverteilung der Herzkatheteruntersuchungsdauer zeigt Abbildung 5.

3. Verwendete Kathetergrößen:
Folgende Katheterdurchmesser wurden verwendet:
(siehe Abbildung 6)

4 French bei 1 Kind
5 French bei 29 Kindern
6 French bei 22 Kindern

4. Untersucher:
Es wurde zwischen erfahreneren Untersuchern (A) und weniger erfahrenen Untersuchern (B) unterschieden.
35 Kinder wurden von den erfahreneren Untersuchern katheterisiert und 17 Kinder von den weniger erfahrenen Untersuchern.

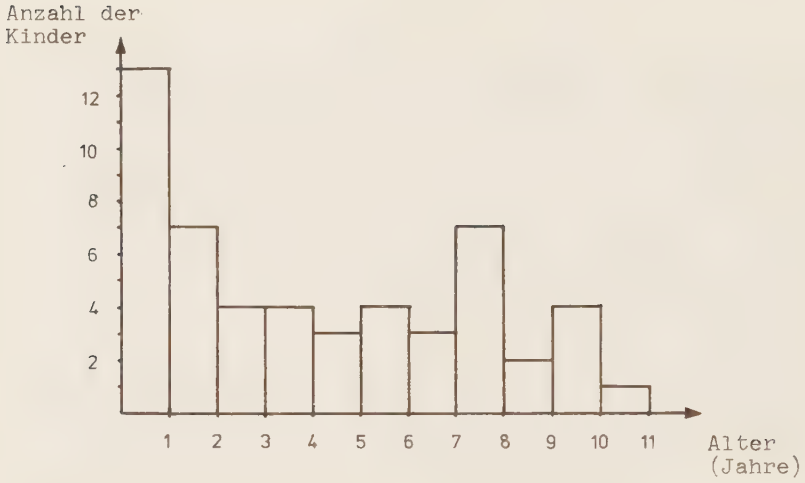

Abbildung 3: Altersverteilung der Kinder zum Zeitpunkt der Herzkatheteruntersuchung

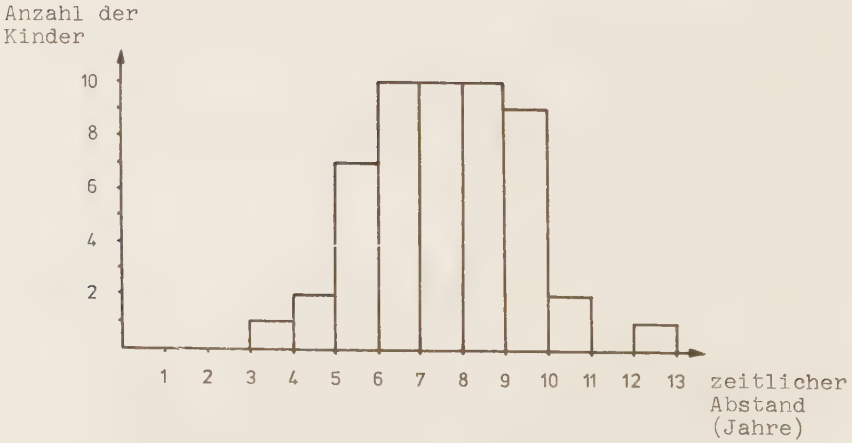

Abbildung 4: Häufigkeitsverteilung des zeitlichen Abstandes zwischen Herzkatheteruntersuchung und angiologischer Untersuchung

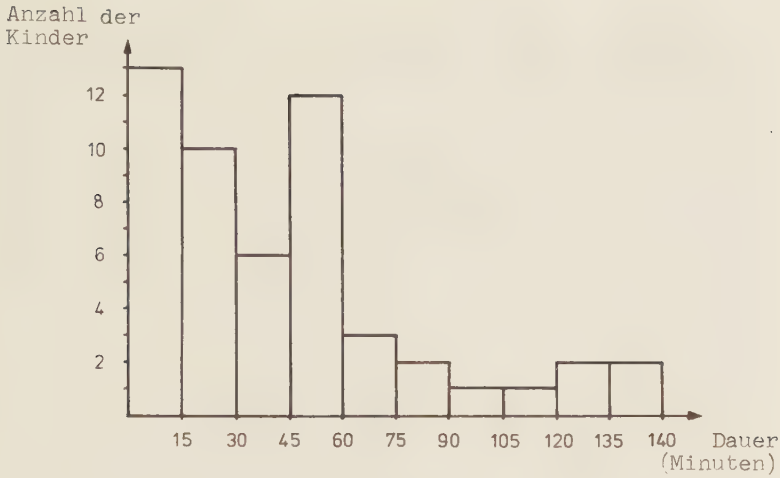

Abbildung 5: Häufigkeitsverteilung der Herzkatheter-untersuchungsdauer

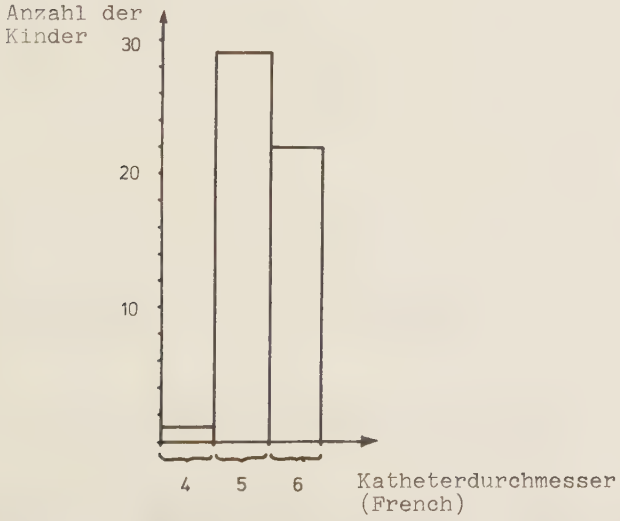

Abbildung 6: Häufigkeitsverteilung der verwendeten Kathetergrößen

5. Geschlecht:
Das Patientenkollektiv setzte sich aus 30 Jungen und 22 Mädchen zusammen (vergleiche Abbildung 2).

6. Komplikationen am peripheren Gefäßsystem, die möglicherweise während oder unmittelbar nach der Herzkatheteruntersuchung auftraten, und andere Auffälligkeiten:
Aus den Protokollen bzw. Arztbriefen waren bei 5 Kindern Komplikationen zu entnehmen, die unter 3.2.2. Punkt 7. im einzelnen aufgeführt sind.

7. Ort des Zugangs zum arteriellen Gefäßsystem:
4 Kinder wurden über die re A. axillaris,
47 Kinder über die re A. brachialis und
1 Kind über die li A. brachialis katheterisiert.

Zwei Kinder hatten jeweils 2 retrograde Herzkatheter erhalten, das erste Kind zweimal über die A. brachialis dextra, das zweite Kind je einen über die rechte und linke A. brachialis. Aus dem Herzkatheterprotokoll des letzteren ging hervor, daß die linke A. brachialis des damals 1,7 Jahre alten Kindes unterbunden werden mußte.

2.1.3. Benutzte Geräte

Zur Armlängen- und Armumfangsmessung verwendeten wir ein handelsübliches Haushaltsmaßband.

Die grobe Kraft bestimmten wir mit einem Vigorimeter der Fa. Gebrüder Martin/Tuttlingen (mit 3 Ballgrößen).

Zur Blutdruckmessung verwendeten wir handelsübliche Blutdruckmanschetten mit 5 cm, 10 cm und 13 cm Breite.

Zur Blutdruckmessung mit Hilfe der Ultraschall-Doppler-Technik verwendeten wir das Gerät "Blood Velocimeter BV 380" der Fa. Kranzbühler + Sohn/Solingen.

Die oszillographischen Aufzeichnungen führten wir mit einem in den "Angiologiemeßplatz-Tübinger Modell" eingebauten elektronischen Oszillographen der Fa. Boucke/Mähringen bei Tübingen durch.

Venenverschlußplethysmographische Aufzeichnungen erhielten wir durch das Gerät "Infraton Vasoscript VV 33 nach Prof. Dr. Barbey" der Fa. Boucke/Mähringen bei Tübingen.

2.2. Untersuchung und Methodenbeschreibung

2.2.1. Untersuchung

Die Untersuchung fand unter Praxisbedingungen statt, d.h. in einem Raum, in dem Temperatur und Luftfeuchtigkeit nicht konstant gehalten wurden. Das Kind legte sich, nachdem es die Arme freigemacht hatte, auf die Untersuchungsliege. Im Untersuchungsgang gingen wir, wie folgt, vor (41):
Anamnestisch versuchten wir eventuell vorhandene Einflüsse auf die Gefäße und deren Funktion festzustellen. Anschließend wurden die Arme inspiziert, der Muskeltonus geprüft, die Armlänge und Armumfänge gemessen und die Pulse getastet. Die grobe Kraft wurde festgestellt und der Blutdruck nach Riva-Rocci gemessen.
Um genauere Aussagen über die Hämodynamik der Armgefäße machen zu können, wendeten wir spezielle angiologische Meßverfahren an: Der systolische Blutdruck wurde mit Hilfe der Ultraschall - Doppler - Technik bestimmt. Ein Unterarmoszillogramm diente zur Erfassung der pulsatilen Parameter. Ein Venenverschlußplethysmogramm nach reaktiver Hyperämie gab uns Informationen über die Durchblutungsverhältnisse der Arme.

2.2.2. Methodenbeschreibung:

1. Anamnestisch versuchten wir herauszufinden,

a) ob während, bzw. direkt nach der Herzkatheteruntersuchung Beschwerden am katheterisierten Arm aufgetreten waren, oder ob eine gefäßchirurgische Revision erforderlich geworden war,

b) ob zur Zeit noch Beschwerden bestehen, die mit der Herzkatheteruntersuchung in Verbindung gebracht werden können (z.B. Claudicatio intermittens, Ruheschmerz),

c) ob das Kind Rechts- oder Linkshänder ist,

d) ob andere Ereignisse oder Krankheiten vorlagen, die sich einseitig am Gefäßsystem auswirken (wie z.B. Gefäßmißbildungen oder Unfälle mit Gefäßbeteiligung).

2. Inspektion: Bei der Inspektion der Patienten achteten wir auf Veränderungen der Hautfarbe und -temperatur, Narben, Ödeme und trophische Störungen an den Armen.

3. Muskeltonus: Wir prüften den Tonus der Armmuskulatur auf Seitengleichheit.

4. Armlängenmessung: Die Armlänge wurde mit einem handelsüblichen Maßband vom Acromion bis zum Processus stylii radii gemessen. Wir achteten hierbei besonders auf Seitendifferenzen. Wir protokollierten die Maße mit einer Genauigkeit von 0,5 cm.

5. Armumfangsmessungen: Der Oberarmumfang wurde an der Stelle des größten Umfangs gemessen (etwa in der Mitte des Oberarms). Am oberen Drittel des Unterarms bestimmten wir ebenfalls den Umfang, welcher etwa auch dem größten Umfang des Unterarms entspricht. Auch hier protokollierten wir die Maße mit einer Genauigkeit von 0,5 cm.

6. Pulstastung: Die Pulse tasteten wir beidseits über den Aa. brachiales, Aa. ulnares und Aa. radiales, wobei wir die Pulsqualität in gut, schwach und nicht tastbar [+,(+),-] graduierten.

7. Messung der groben Kraft: Mit dem Vigorimeter wurde die grobe Kraft (K) der Handmuskulatur gemessen. Da uns weniger der Absolutwert als die Seitenunterschiede interessierte, bildeten wir für die Auswertung den Quotient $Q_K = \left(\frac{K\ rechts}{K\ links}\right.$ bei Rechtshändern; $\frac{K\ links}{K\ rechts}$ bei Linkshändern).
Bei der Durchführung achteten wir darauf, daß der Arm nicht aufgestützt wurde, und daß der Gummiball, auf den der Druck ausgeübt wird, bei beiden Händen auf die gleiche Art gepresst wurde, um veränderte Druckwerte, die durch verschiedenartiges Drücken entstehen, zu vermeiden. Im allgemeinen verwendeten wir die mittlere Ballgröße (in Abhängigkeit von der Größe der Hand).

8. Blutdruckmessung nach Riva-Rocci:

Bei jedem Kind bestimmten wir auch den Blutdruck nach Riva-Rocci über beiden Aa. brachiales.
Weiterverwertet wurde jedoch nur eine möglicherweise festgestellte Abschwächung bzw. das Fehlen der Korotkoff-Geräusche, da uns bezüglich der systolischen Blutdruckwerte durch die Messung mit Hilfe der Dopplersonde genauere Werte zur Verfügung standen.

9. Blutdruckmessung mit Hilfe der Dopplersonde:

Prinzip: Die Blutströmung kann in Arterien und Venen durch die technische Anwendung des Ultraschall-Doppler-Prinzips in akustische bzw. elektrische Signale umgeformt und dadurch hörbar und registrierbar gemacht werden. Die Dopplersonde sendet Schallwellen aus, die von den Blutkörperchen reflektiert werden. Da sich die Blutkörperchen in Richtung des

Blutstroms von der Sonde wegbewegen, reflektieren sie eine geringere Frequenz der Schallwellen (Doppler-Effekt). Diese Frequenzdifferenz wird technisch hör- bzw. registrierbar gemacht. Legt man proximal des Meßortes eine Blutdruckmanschette an und pumpt diese so stark auf, daß das akustische Dopplersignal verschwindet, hat man die Möglichkeit, beim Ablassen des Drucks den systolischen Blutdruck im Gefäß zu bestimmen (68).

Ausführung: Eine Blutdruckmanschette wurde an der dicksten Stelle des Unterarms angelegt. Die Breite der Manschette wählten wir in Abhängigkeit vom Unterarmumfang:

- Bei einem Unterarmumfang von weniger als 15 cm verwendeten wir eine 5 cm breite Manschette.
- Bei einem Unterarmumfang von 15 bis 23 cm wurde eine 10 cm breite Manschette verwendet,
- und bei einem Umfang größer als 23 cm fand eine 13 cm breite Manschette Anwendung, wie sie auch bei Erwachsenen verwendet wird (42).

Die Messung mit der Dopplersonde erfolgte über der A. radialis und A. ulnaris beider Arme. Auf das Hautgebiet über der entsprechenden Arterie wurde Kontaktgel aufgetragen, die Dopplersonde in einem Winkel von etwa 45° in Strömungsrichtung aufgesetzt und über der Arterie bewegt, bis der Punkt erreicht war, an dem das Strömungsgeräusch am stärksten war (64). Dann wurde die Manschette für kurze Zeit auf suprasystolische Werte aufgepumpt, bis das akustische Dopplersignal verschwand, um anschließend den Manschettendruck langsam wieder abzulassen. Sobald das Strömungsgeräusch wieder hörbar wurde, wurde der Manschettendruck abgelesen.

Ergaben sich unterschiedliche Druckwerte zwischen der A. radialis und der A. ulnaris eines Armes, so wurde der

höhere Wert weiterverwertet. Neben den Absolutwerten (p re und p li) und der seitenvergleichenden Druckdifferenz Δp (re - li bei Rechtshändern; li - re bei Linkshändern) verwendeten wir auch den Quotienten Q_p ($\frac{p\ re}{p\ li}$ bei Rechtshändern; $\frac{p\ li}{p\ re}$ bei Linkshändern). Auf die unterschiedlichen Aussagefähigkeiten von Δp und Q_p wird unter Punkt 4.1. eingegangen.

10. Pulswellenregistrierung mit Hilfe des elektronischen Oszillographen

Prinzip: Eine luftgefüllte Meßmanschette, die mit einem Meßsystem verbunden ist, umschließt einen bestimmten Extremitätenabschnitt. Die durch das arterielle System in diesem Extremitätenabschnitt induzierten pulsatorischen Volumenschwankungen führen in der Manschette zu Druckschwankungen, die nach Umformung in elektrische Impulse registriert werden können.
Solche Messungen wurden gleichzeitig an den entsprechenden Abschnitten der kontralateralen Extremitäten durchgeführt (72).

Ausführung: Auch hier wählten wir die Meßmanschettenbreite in Abhängigkeit vom Unterarmumfang:

- Bei einem Unterarmumfang von weniger als 20 cm verwendeten wir eine 6 cm breite Manschette,
- bei einem Unterarmumfang von mehr als 20 cm eine 12 cm breite Manschette.

Die Manschetten wurden proximal des Handgelenks an beide Unterarme angelegt, wobei die Hände auf Kissen gelagert wurden, so daß die Manschetten über der Unterlage schwebten.

a) Statisches Oszillogramm
Zur Registrierung wurden die Manschetten auf einen Druck von

50 mm Hg aufgepumpt, in einigen Fällen bis 80 mm Hg, um besser auswertbare Kurven zu erhalten (41). Mit einem in das Gerät eingebauten EKG-Schreiber zeichneten wir die Pulswellen bei einer Papiergeschwindigkeit von 50 mm/sec. auf. (Vergleiche Abb. 7)

b) Dynamisches Oszillogramm
Anschließend erhöhten wir den Manschettendruck auf den suprasystolischen Wert von etwa 200 mm Hg. Während das Gerät den Druck langsam und kontinuierlich (mit etwa 7 mm Hg/sec) wieder abfallen ließ, registrierten wir die Pulswellen bei einer Papiergeschwindigkeit von 5 mm/sec (57, 41) (Vergleiche Abb. 8).

Auswertung der registrierten Pulskurven:

a) Statisches Oszillogramm

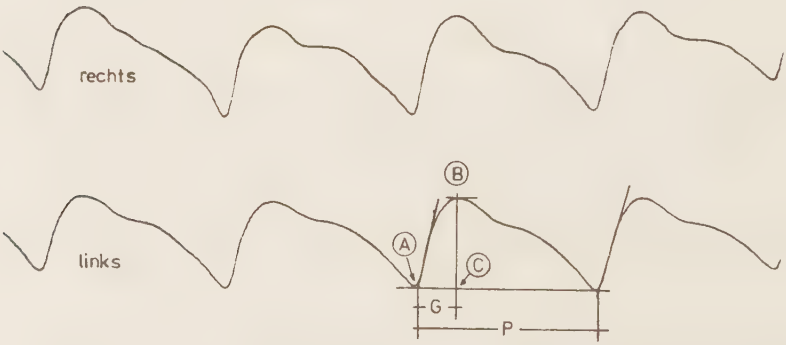

Abbildung 7: Statisches Oszillogramm mit Auswertung (s.Text)

Die Auswertung der Kurven ergibt sich aus dem Schaubild in Verbindung mit dem Text (57):

A = Anfangspunkt der Kurve:
Um diesen Punkt ermitteln zu können, wird an den aufsteigenden Schenkel der Pulskurve die Tangente angelegt. Der Schnittpunkt dieser Tangente mit der Basislinie entspricht dem Anfangspunkt A.

B = Gipfelpunkt der Kurve:
Der Punkt, an dem die Pulswelle ihre maximale Amplitude erreicht.

C = Fußpunkt:
Fällt man das Lot durch den Gipfelpunkt B auf die Basislinie, so erhält man den Fußpunkt C.

G ≙ Gipfelzeit:
Dividiert man die Strecke A - C durch die Papiergeschwindigkeit (50mm/sec), so ergibt sich die Gipfelzeit, i. e. die Zeit vom Beginn der Kurve bis zum Erreichen der maximalen Amplitude. Die Strecke G entspricht der Gipfelzeit.

P ≙ Periodendauer:
Die Strecke zwischen zwei aufeinanderfolgenden Kurvenanfangspunkten entspricht der Periodendauer (Berechnung entsprechend der Gipfelzeit).

Durch die Bildung des Quotienten G/P wurde die Gipfelzeit frequenzunabhängig gemacht (75). Zur Auswertung verwendeten wir den seitenvergleichenden Quotienten
$Q_{G/P}$ ($\frac{G/P\ re}{G/P\ li}$ bei Rechtshändern; $\frac{G/P\ li}{G/P\ re}$ bei Linkshändern).

b) Dynamisches Oszillogramm

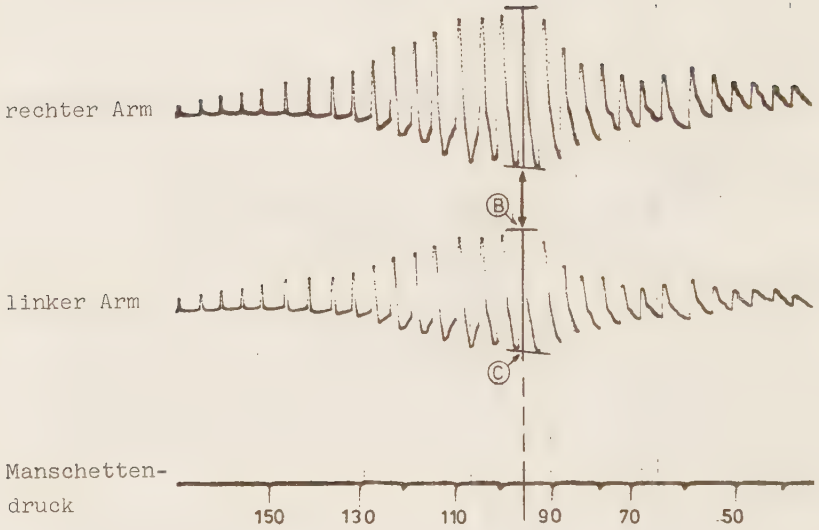

Abbildung 8: Normales dynamisches Oszillogramm mit Auswertung

Zur Auswertung ermittelt man die Pulswelle mit der größten Amplitude, durch Ausmessen der Strecke B - C (analog zu Abb. 7 : B = Gipfelpunkt, C = Schnittpunkt der Senkrechten durch B zur Null-Linie mit der Verbindungslinie zweier benachbarter Kurvenanfangspunkte).

Als oszillographischen Index (OI) bezeichnet man den Manschettendruck, bei dem die Pulswelle mit maximaler Amplitude auftritt (72). Dieser Druckwert kann auf der unteren Registrierkurve abgelesen werden.

Von diagnostischem Interesse ist eine mögliche Indexverschiebung (ΔOI) (Vergleiche Abb. 9), die der Differenz OI re - OI li bei Rechtshändern bzw. OI li - OI re bei Linkshändern entspricht. Dieser Wert ΔOI wurde zur Auswertung weiterverwendet. Die Angabe erfolgte mit einer Genauigkeit von 10 mm Hg.

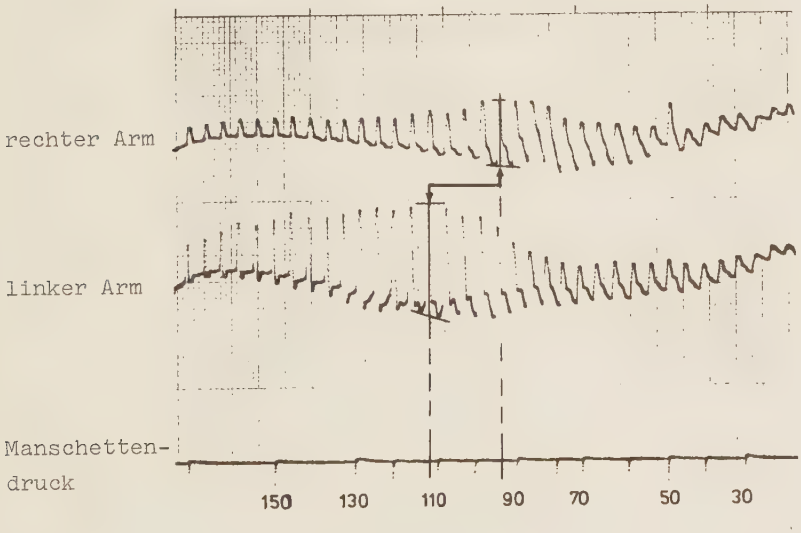

Abbildung 9: Pathologisches dynamisches Oszillogramm

J.M., 6 Jahre, Rechtshänder
Arteriotomie: rechte A. brachialis

OI re = 94 mm Hg
OI li = 112 mm Hg

ΔOI = - 20 mm Hg

11. Durchblutungsmessung mit Hilfe der Venenverschlußplethysmographie

Prinzip: Eine Staumanschette wird am Oberarm angelegt und bis zu einem subdiastolischen Druck aufgepumpt. Im Idealfall wird dadurch erreicht, daß der arterielle Bluteinstrom nicht behindert wird, während der venöse Rückfluß vollständig blockiert ist. Mit Hilfe einer am Unterarm anliegenden Meßmanschette wird die Volumenzunahme der Extremität aufgezeichnet. Die Durchblutung ist der Volumenzunahme proportional und kann durch Auswertung der registrierten Kurven ermittelt werden. Die gleiche Messung wird nach 3-minütiger vollständiger arterieller Drosselung während der reaktiven Hyperämie durchgeführt (72).

Ausführung: Die Staumanschetten wurden am liegenden Kind oberhalb der Ellenbeuge angelegt. Der Oberarm war leicht abduziert, die Ellenbeuge leicht abgewinkelt. Die Meßmanschette wurde an der Stelle des größten Umfangs am Unterarm angelegt und dann bis zu einem Druck von 20 mm Hg aufgepumpt, damit die Manschette gleichmäßig der Haut anliegt, ohne jedoch selbst eine venöse Drosselung zu verursachen. Damit die Meßmanschette nicht auf der Unterlage aufliegt, wurde ein Kissen unter die Hand geschoben. Im Anschluß daran erfolgte eine Eichregistrierung, indem dem pneumatischen System stufenweise 1 oder 5 ml entnommen wurde.

Eine distale Okklusion wurde nicht durchgeführt.

Nach Aufpumpen der Staumanschette auf einen Druck von 50 mm Hg erfolgte die Registrierung der Ruhedurchblutung, um die Funktionsfähigkeit des Meßsystems zu kontrollieren. Die ermittelten Werte wurden jedoch nicht weiterverwendet, da die Ruhedurchblutung keine diagnostische Aussagefähig-

keit besitzt (36, 71, 72, 80).
Im Anschluß daran führten wir eine 3-minütige arterielle Drosselung durch, indem die Staumanschette auf einen um etwa 50 mm Hg suprasystolischen Druck aufgepumpt wurde (25). Durch diese individuelle Druckanpassung versuchten wir bei unseren Kindern mit möglichst geringem Okklusionsdruck auszukommen, da hohe Drucke schmerzhaft sein können. Die Kontrolle, ob die arterielle Drosselung komplett war, erfolgte durch Mitlaufenlassen der Registrierung: Konstanz der Nullinie bedeutet, daß die Gliedmaße keine Volumenzunahme erfährt.
Die Registrierung der reaktiven Hyperämie erfolgte nach schlagartigem Absenken des Staudrucks auf 50 mm Hg. Der Staudruck wurde so lange beibehalten, bis ein auswertbarer Kurvenanstieg erreicht war (in der Regel 7-8 sec). Dann wurde der Staudruck ganz abgelassen, damit sich die gefüllten venösen Speicher wieder entleeren konnten. Auf diese Weise wurden im 15-Sekunden Abstand fünf Messungen durchgeführt. Die Durchblutung während der reaktiven Hyperämie wird so ausreichend genau erfaßt (72).

Auswertung der Venenverschlußplethysmogramme:

Zur Auswertung der reaktiven Hyperämie wurde der Winkel des Kurvenanstiegs bestimmt, indem die Tangente an die diastolischen Fußpunkte der Pulswellen angelegt wurden (6, 10, 32).(Vergleiche Abbildung 10 und 11)

- Eindeutig festzulegende Winkel ergaben sich bei linear verlaufenden Einflußkurven (72).

- Bei abszissenkonkaven Einflußkurven, die sich ergeben, wenn das Speichervolumen der kapazitiven Gefäße erreicht wurde (z.B. durch zu tiefe Lagerung der Extremität mit Meßmanschette oder zu festes Anliegen der Staumanschette),

wurde die Tangente an die ersten 3 oder 4 Pulswellen der Einflußkurve angelegt (25, 32).

- Bei Einflußkurven mit rhythmischen Volumenschwankungen, die z.B. durch Blutdruckschwankungen entstehen können, wurde die Tangente entsprechend dem mittleren Anstieg der Einflußkurve angelegt (32, 72).

- Bei abszissenkonvexen Einflußkurven, die entstehen können, wenn die Staumanschette zu weit von der Meßmanschette entfernt angelegt wird, oder wenn die Extremität zu hoch liegt, haben wir die Tangente an den steilsten Kurvenabschnitten angelegt (32).

- Schließlich gab es noch Kurven mit initialem Okklusionsartefakt, der daran erkennbar war, daß er bei allen Einflußkurven einschließlich Ruhedurchblutung auftrat und initial steil, jedoch ohne sichtbare Pulswellen anstieg. Er kann durch Einpressen von Blut oder Gewebe in das Meßgebiet (d.h. unter die Meßmanschette) entstehen. Zur Auswertung wurde hierbei die Tangente erst nach dem Okklusionsartefakt an die Kurve angelegt (32).

Nach der Formel von BARBEY und BARBEY (3) wurde der Durchblutungswert V_t berechnet:

$$V_t = \frac{\tan\alpha_t \cdot S}{E}$$

V_t = Durchblutung [in ml/min] zum Zeitpunkt t
α_t = Kurvenanstiegswinkel zum Zeitpunkt t
S = Papiervorschub [in $\frac{cm}{min}$] (hier immer 20 $\frac{cm}{min}$)
E = Größe der Eichzacke für 1 ml [in cm]

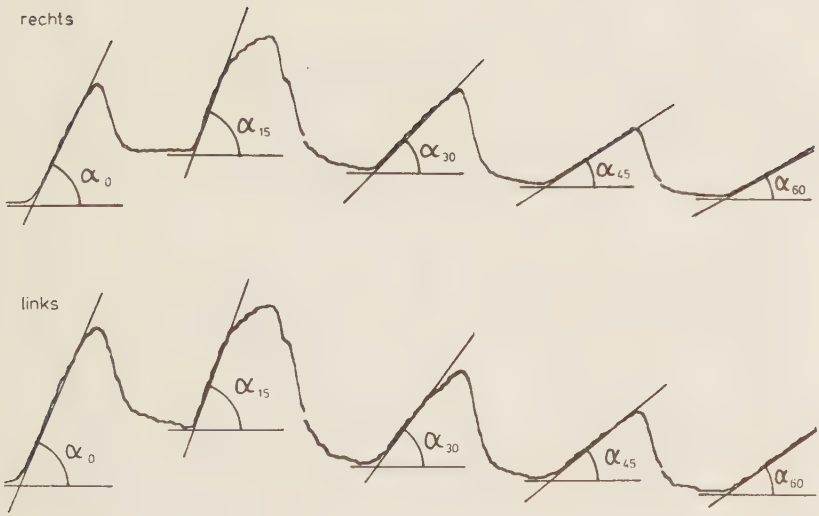

Abbildung 10: Normales Venenverschlußplethysmogramm nach reaktiver Hyperämie

E.W., 15 Jahre, Rechtshänder

Unterarmumfang: re = 25,5 cm; li = 24,5 cm
Eichzackengröße (5 ml): re = 4,4 cm; li = 4,2 cm

rechter Arm:		linker Arm:	
α_0 = 64,5°	V_0 = 23,7 ml/min	α_0 = 66,5°	V_0 = 22,9 ml/min
α_{15}= 69,5°	V_{15}= 30,2 ml/min	α_{15}= 70°	V_{15}= 27,4 ml/min
α_{30}= 46°	V_{30}= 11,7 ml/min	α_{30}= 54,5°	V_{30}= 14,0 ml/min
α_{45}= 33,5°	V_{45}= 7,5 ml/min	α_{45}= 40°	V_{45}= 8,4 ml/min
α_{60}= 31°	V_{60}= 6,8 ml/min	α_{60}= 34,5°	V_{60}= 6,9 ml/min
PF_{re}= 30,2 ml/min		PF_{li}= 27,4 ml/min	
PF-time$_{re}$= 15 sec		PF-time$_{li}$= 15 sec	

Q_{PF}= 1,10

Die angegebenen Durchblutungswerte V_t wurden nach der Formel von BARBEY und BARBEY (siehe Text) berechnet und beziehen sich auf 100 ml Gewebe.

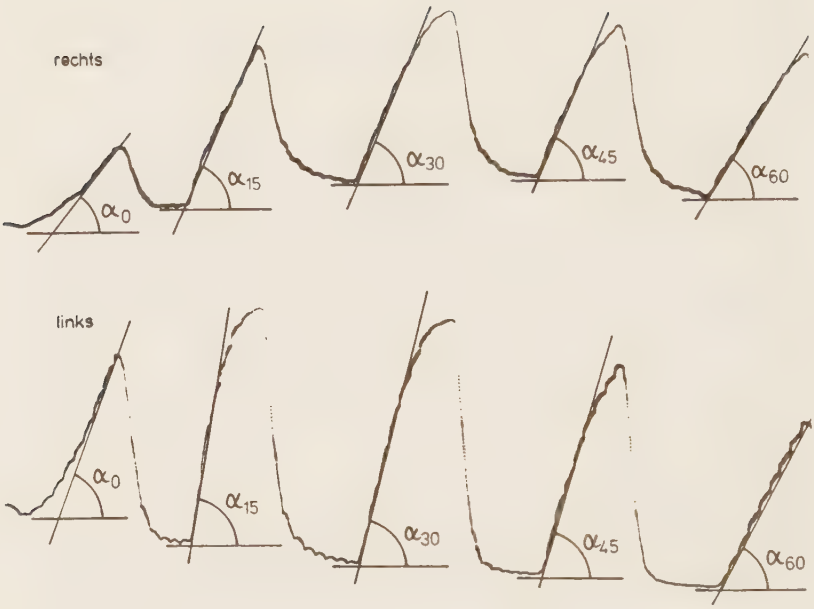

Abbildung 11: Pathologisches Venenverschlußplethysmogramm nach reaktiver Hyperämie

A.P., 15 Jahre, Linkshänder

Arteriotomie: rechte A. brachialis
Unterarmumfang: re = 25,5 cm; li = 26,5 cm
Eichzackengröße (5 ml): re = 4,3 cm; li = 4,3 cm

rechter Arm:		linker Arm:	
$\alpha_0 = 52^\circ$	$V_0 = 11,5$ ml/min	$\alpha_0 = 69,5^\circ$	$V_0 = 22,3$ ml/min
$\alpha_{15} = 66^\circ$	$V_{15} = 20,2$ ml/min	$\alpha_{15} = 80,5^\circ$	$V_{15} = 49,7$ ml/min
$\alpha_{30} = 67,5^\circ$	$V_{30} = 21,7$ ml/min	$\alpha_{30} = 75^\circ$	$V_{30} = 31,2$ ml/min
$\alpha_{45} = 66,5^\circ$	$V_{45} = 20,7$ ml/min	$\alpha_{45} = 73,5^\circ$	$V_{45} = 28,1$ ml/min
$\alpha_{60} = 58^\circ$	$V_{60} = 11,1$ ml/min	$\alpha_{60} = 62^\circ$	$V_{60} = 15,7$ ml/min
$PF_{re} = 21,7$ ml/min		$PF_{li} = 49,7$ ml/min	
PF-time$_{re}$ = 30 sec		PF-time$_{li}$ = 15 sec	

$Q_{PF} = 2,2$

Die angegebenen Durchblutungswerte V_t wurden nach der Formel von BARBEY und BARBEY (siehe Text) berechnet und beziehen sich auf 100 ml Gewebe.

Anschließend wurde annäherungsweise das Volumen V des Extremitätenabschnittes unter der Meßmanschette nach folgender Zylinderformel berechnet:

$$V = \frac{U^2}{4\pi} \cdot M$$

V = Volumen des Extremitätenabschnittes unter der Meßmanschette [in ml]
M = Breite der Meßmanschette [in cm]
U = Umfang des entsprechenden Extremitätenabschnittes [in cm]

Dadurch wird es möglich, die Durchblutung pro Gewebseinheit (100 ml) angeben zu können (10).
In dieser Gewebseinheit von 100 ml ist das Knochenvolumen mit enthalten.

Aus den so gewonnenen Einflußkurven der reaktiven Hyperämie wurde der im Verlauf der Messung auftretende größte Durchblutungswert (Peak Flow = PF), sowie die Zeit bis zum Erreichen des Peak Flow (PF-time), sowohl für den rechten als auch den linken Arm zur Auswertung herangezogen.
Außerdem bildeten wir den Quotienten Q_{PF} ($\frac{PF\ re}{PF\ li}$ bei Rechtshändern; $\frac{PF\ li}{PF\ re}$ bei Linkshändern).

2.3. Zur Auswertung verwendete statistische Tests

Mittelwertsvergleiche zwischen zwei verschiedenen Stichproben führten wir mit Hilfe des t-Tests für unabhängige Stichproben bzw. mit Hilfe des Mittelwertvergleichs nach Aspin-Walch durch.
Um festzustellen, welcher Test angewendet werden muß, führten wir den F-Test durch. Dieser darf angewendet werden, wenn die Stichproben aus normalverteilten Grundgesamtheiten stammen. Mit Hilfe des F-Testes kann man feststellen, ob ein signifikanter Unterschied zwischen den Varianzen beider Stichproben besteht.

Besteht ein solcher signifikanter Unterschied (inhomogene Varianz), dann wird der Mittelwertvergleich nach Aspin-Walch angewendet.
Besteht kein signifikanter Unterschied (homogene Varianz), dann kann der t-Test für unabhängige Stichproben angewendet werden.
Aufgrund der Ergebnisse bei allen statistischen Tests sprachen wir dann von einem signifikanten Unterschied zweier Mittelwerte, wenn die Irrtumswahrscheinlichkeit kleiner als 5 % ist (sofern nicht anders angegeben).

Lagen zwei Stichproben mit verbundenen (d.h. paarigen) Meßreihen vor, und waren die Paardifferenzen annähernd normal verteilt, verwendeten wir den t-Test für paarige Stichproben, um herauszufinden, ob zwischen den jeweiligen Werten der beiden Meßreihen ein signifikanter Unterschied besteht.

Um anhand einer Vierfeldertafel zu prüfen, ob zwischen zwei Merkmalen ein Zusammenhang besteht, verwendeten wir den Fisher-Yates-Test, der im Gegensatz zum X^2-Vierfeldertest auch bei sehr kleinen Gruppengrößen angewendet werden kann: Unter der Annahme, daß zwischen den beiden Merkmalen kein Zusammenhang besteht, berechnet der Fisher-Yates-Test die Wahrscheinlichkeit p mit der die in der Vierfeldertafel beobachtete Häufigkeitsverteilung oder Häufigkeitsverteilungen, die nach obiger Voraussetzung noch unwahrscheinlicher sind, zufällig entstanden sind.
Ein $p < 0,05$ bedeutet demnach, daß die Wahrscheinlichkeit, daß die beobachtete Häufigkeitsverteilung (oder noch unwahrscheinlichere Häufigkeitsverteilungen) zufällig entstanden ist, kleiner als 5 % ist (unter der Annahme, daß zwischen den beiden Merkmalen kein Zusammenhang besteht). Ein solches Testergebnis macht es demnach sehr unwahrscheinlich, daß diese Häufigkeitsverteilung zufällig entstanden ist. Wir folgern deshalb bei $p < 0,05$, daß zwischen beiden Merkmalen ein signifikanter Zusammenhang besteht. (Dieser Zu-

sammenhang kann jedoch durch den Fisher-Yates-Test nicht quantifiziert werden.)

Eine Korrelationsanalyse führten wir durch, wenn wir den Zusammenhang zwischen zwei Merkmalen (z.B. Q_p und Q_{PF}) prüfen wollten, von denen wir eine bestimmte Anzahl von Wertepaaren ermittelt hatten. Der Produktmoment-Korrelationskoeffizient (r) wurde errechnet, der ein Maß für den linearen Zusammenhang der beiden Merkmale ist. Ist $r = \pm 1$, so besteht zwischen beiden Merkmalen ein funktionaler Zusammenhang. Bei $r = 0$ ist das nicht der Fall. Die Regressionsanalyse diente zur Feststellung von Regressionsgleichungen, die bestimmten beobachteten Punktwolken angepaßt sind. In unserem Fall handelte es sich um lineare Regression, da die ermittelten Gleichungen Geraden darstellten (weitere Einzelheiten siehe SACHS, 65).

Die notwendigen Berechnungen wurden am Zentrum für Datenverarbeitung der Universität Tübingen unter Beratung von Prof. G. Schubring und seinen Mitarbeitern durchgeführt.

2.4. Vorgehen bei der Ermittlung der angiologischen Diagnose

Für jedes Kind des Patientenkollektivs versuchten wir in Bezug auf den katheterisierten Arm eine angiologische Diagnose aufzustellen. Wir verglichen dazu die seitenvergleichenden Quotienten jedes einzelnen Kindes an der Streubreite der Werte des altersentsprechenden Kontrollkollektives (siehe Tab. 6 bis 8, S. 49 f).

Entscheidend waren für uns die seitenvergleichenden Quotienten Q_p, $Q_{G/P}$ und Q_{PF}. Zusätzlich verwendeten wir die Parameter ΔOI, Δp und PF-time des katheterisierten Armes. Nur wenn hier pathologische Werte auftraten, zogen wir auch die

Absolutwerte p, G/P und PF unter Berücksichtigung der kardialen Situation des Patienten hinzu, um erkennen zu können, ob die Durchblutungseinschränkung auch mit einer Einschränkung im Vergleich zu den Kindern der Kontrollgruppe gleichzusetzen ist. Um die seitenvergleichenden Parameter als pathologisch bezeichnen zu können, verglichen wir sie mit den Normalwerten der entsprechenden Kontrollgruppe. Da uns aber nur die Durchblutungseinschränkungen interessierten, die auf den retrograden Herzkatheter zurückzuführen sind, wählten wir als Grenzwert die zweifache Standardabweichung vom Mittelwert auf der Seite, die zuungunsten des katheterisierten Armes liegt. Zeigte der Arm, an dem der Katheter eingeführt wurde, bessere Durchblutungswerte, so wurde das hier zunächst nicht berücksichtigt.

Sowohl im Kontrollkollektiv, wie auch im Patientenkollektiv wurden die seitenvergleichenden Quotienten bei Rechtshändern gegenüber den Linkshändern genau reziprok gebildet, also bei Rechtshändern $\frac{re}{li}$ und bei Linkshändern $\frac{li}{re}$. (Begründung dieser Quotientenbildung unter 3.1.2.)
Wir mußten deshalb zwei Fälle unterscheiden:

Fall 1: Die Seite, an der der retrograde Herzkatheter eingeführt wurde, entspricht dem "dominanten" Arm, d.h. bei Rechtshändern dem rechten und bei Linkshändern dem linken Arm.

Fall 2: Die Seite, an der der retrograde Herzkatheter eingeführt wurde, entspricht nicht dem dominanten Arm.

Bei einer Durchblutungsstörung des katheterisierten Armes liegen nämlich die Quotienten von Fall 1 und Fall 2 genau entgegengesetzt, entweder oberhalb oder unterhalb des Mittelwerts der Kontrollgruppe.

Die seitenvergleichenden Parameter bezeichneten wir deshalb im einzelnen als pathologisch wie folgt:

Pathologische Doppler-Druckwerte:

Fall 1: $Q_p \leq (\bar{x} - 2s)$
$\Delta p \leq -10$ mm Hg

Fall 2: $Q_p \geq (\bar{x} + 2s)$
$\Delta p \geq 10$ mm Hg

Die pulsatilen Parameter (OZ) wurden als pathologisch bezeichnet für:

Fall 1: $Q_{G/P} \geq \bar{x} + 2s$ und/oder Δ OI ≤ -10 mm Hg

Fall 2: $Q_{G/P} \leq \bar{x} - 2s$ und/oder Δ OI ≥ 10 mm Hg

Die Durchblutungswerte (VVP) wurden als pathologisch bezeichnet für:

Fall 1: $Q_{PF} \leq \bar{x} - 2s$ und/oder PF-time des katheterisierten Armes > 15 sec

Fall 2: $Q_{PF} \geq \bar{x} + 2s$ und/oder PF-time des katheterisierten Armes > 15 sec.

Die hier nicht angeführten restlichen Wertebereiche entsprechen dem Normbereich.

Um nun für jedes einzelne Kind eine Diagnose zu erhalten, gingen wir, wie folgt, vor:

- War der seitenvergleichende Druckquotient (Q_p) ebenso wie die pulsatilen Parameter (OZ) und venenverschluß-plethysmographischen Parameter (VVP) im Normbereich, so erhielt das Kind die Gefäßdiagnose gesund.
- Lagen jedoch sowohl OZ als auch VVP im pathologischen Bereich, erhielt das Kind trotz im Normbereich liegender Druckquotienten die Diagnose Stenose (siehe auch Anmerkung zu Abb. 12).
- War Q_p pathologisch, dann wurde zunächst nach der Druckdifferenz Δp unterschieden: Lag hierbei Δp im Normbereich und lagen auch OZ und VVP im Normbereich, so erhielt das Kind die Gefäßdiagnose gesund. Lagen dabei jedoch OZ und/oder VVP im pathologischen Bereich, so

wurde eine Stenose diagnostiziert.

- Zeigte sich Q_p und Δp als pathologisch, wurde unabhängig von den Ergebnissen von OZ und VVP eine Stenose diagnostiziert.

In diesem Diagnoseschlüssel sind zwei Besonderheiten enthalten, die hier noch einmal extra aufgeführt werden:

1. Zeigen nur die pulsatilen Parameter (OZ) einen isoliert pathologischen Wert, so erhält das Kind trotzdem die Gefäßdiagnose gesund.
2. Zeigt nur das VVP isoliert pathologische Werte, so erhält auch hier das Kind trotzdem die Gefäßdiagnose gesund.

In Abbildung 12 ist dieser Diagnoseschlüssel schematisch dargestellt.

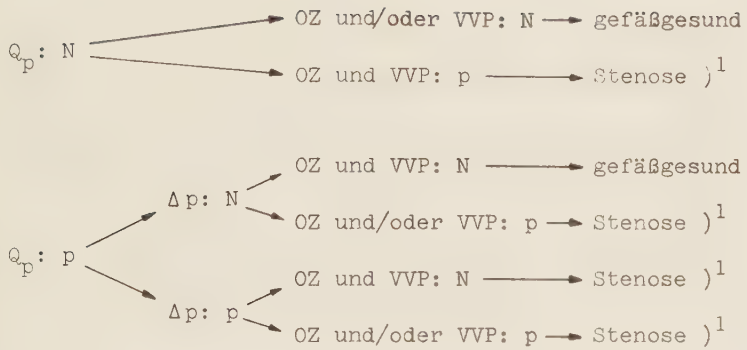

Abbildung 12: Schematische Darstellung des Diagnoseschlüssels

Abkürzungen: p = pathologisch
N = im Normbereich
siehe auch Tabelle 1

)1: Es wurde jeweils noch zwischen
-Stenose mit klinischer Symptomatik und
-Stenose ohne klinische Symptomatik
unterschieden

Anmerkung: Als Stenose bezeichneten wir alle hämodynamischen Einschränkungen, ohne zwischen partieller oder kompletter Okklusion zu unterscheiden (z.B. Stenosebildung an der Arteriotomiestelle, arterieller Thrombus mit oder ohne Kollateralkreislauf). Zur genaueren Differenzierung wäre eine invasive Diagnostik notwendig (z.B. ein Arteriogramm).

3. ERGEBNISSE

3.1. Kontrollgruppe

3.1.1. Ergebnisse der Kontrollgruppe

1. Anamnese:

a + b) Die Frage nach Beschwerden im Zusammenhang mit einer Herzkatheteruntersuchung entfiel hier natürlicherweise.

c) 3 der Kinder waren Linkshänder, 34 Rechtshänder.

d) Über Frakturen, Verletzungen oder sonstige Erkrankungen, die die Blutgefäße der Arme betreffen, wurde von keinem der Kinder berichtet.

2. Inspektion: Bei der Inspektion fanden wir bei keinem der Kinder Auffälligkeiten.

3. Muskeltonus: Bei allen Kindern gab es keine Seitenunterschiede im Muskeltonus der Armmuskulatur.

4. Armlänge: Wir bewerteten, durch die Meßungenauigkeit bedingt, nur Armlängendifferenzen die größer als 1 cm waren. Bei keinem Kind trat eine solche Armlängendifferenz auf. (Eine Armlängenverkürzung von genau 1 cm trat bei einem Rechtshänder auf.) Mittelwert und Standardabweichung der Armlängendifferenzen Δ AL: siehe Tabelle 2

5. Armumfänge:

Oberarmumfang: Eine Umfangsverringerung von über 1 cm im Vergleich zur Gegenseite trat bei 2 Kindern (Rechtshänder) jweils am linken Oberarm auf (5,4%).

Unterarmumfang: Eine Umfangsverringerung von über 1 cm gab es nur bei 1 Rechtshänder am linken Unterarm (2,7%).

untersuchter Parameter	Mittelwert $\bar{x}$	Standardabweichung s	Gruppengröße n	Einheiten
p re	115,3	9,8	37	mm Hg
p li	111,4	8,9	37	mm Hg
Q_p	1,03	0,05	37	-
G/P re	0,180	0,054	37	-
G/P li	0,183	0,051	37	-
$Q_{G/P}$	0,99	0,09	37	-
PF re	38,6	12,8	31	ml/min/100ml Gewebe
PF li	35,3	10,2	31	ml/min/100ml Gewebe
Q_{PF}	1,10	0,33	31	-
Q_K	1,01	0,17	37	-
ΔAL	0,11	0,27	37	cm
ΔOA	0,15	0,60	37	cm
ΔUA	0,31	0,52	37	cm

Tabelle 2: Mittelwerte, Standardabweichungen und Gruppengröße für das gesamte Kontrollkollektiv (Erklärung der Abkürzungen siehe Tabelle 1)

Auch für die Armumfangsdifferenzen wurden die Mittelwerte und Standardabweichungen für das gesamte Kontrollkollektiv berechnet (siehe Tabelle 2).

6. Pulstastung: Bei vier Kindern (10,8%) trat eine leichte Pulsabschwächung [+/(+) oder (+)/-] gegenüber der entsprechenden Arterie der Gegenseite auf:
- bei 1 Kind (Rechtshänder) über der rechten A. brachialis
- bei 2 Kindern (Rechtshänder) über der linken A. ulnaris
- bei 1 Kind (Rechtshänder) jeweils über der linken A. brachialis und A. ulnaris.
- Bei allen anderen Kindern gab es über allen drei Tastorten keine Seitendifferenzen.

7. Grobe Kraft: Mittelwert und Standardabweichung von Q_K: siehe Tabelle 2.

8. Blutdruckmessung nach Riva-Rocci: Die Korotkoff-Geräusche waren bei allen Kindern gut und seitengleich hörbar.

9. Blutdruckmessung mit Hilfe der Ultraschall-Doppler-Technik: Die Mittelwerte und Standardabweichungen für p re, p li und Q_p sind in Tabelle 2 aufgeführt.
Druckdifferenzen von 10 mm Hg und mehr traten bei 4 Kindern auf.
Q_p lag bei 2 Kindern außerhalb des Bereichs der zweifachen Standardabweichung um den Mittelwert. Eines davon zeigte gleichzeitig eine Druckdifferenz von Δp = 12 mm Hg.

10. Oszillographie:
Die Mittelwerte und Standardabweichungen der Ergebnisse des statischen Oszillogramms zeigt ebenfalls Tabelle 2.
Beim dynamischen Oszillogramm gab es bei 2 Kindern eine Indexverschiebung von ΔOI = + 10 mm Hg. Bei 2 anderen Kindern lag eine Indexverschiebung von ΔOI = - 10 mm Hg vor.

11. Venenverschlußplethysmogramm: In Tabelle 2 sind die Mittelwerte und Standardabweichungen von PF re, PF li und Q_{PF} aufgeführt.
Bei 4 Kindern konnte aufgrund mangelnder Kooperation kein, bzw. kein auswertbares VVP gewonnen werden, bei einem Kind lag ein Bedienungsfehler vor und bei einem weiteren Kind war die Staumanschette im Verhältnis zum Oberarm zu breit. Q_{PF} lag bei einem Kind außerhalb des Bereichs der zweifachen Standardabweichung um den Mittelwert. Die PF-time betrug bei 26 Kindern beidseitig 15 sec, bei 3 Kindern beidseitig 0 sec, bei einem Rechtshänder betrug die PF-time rechts 0 sec und links 15 sec und bei einem anderen Rechtshänder links 15 sec und rechts 0 sec.

Weitere Ergebnisse:
Interessehalber wendeten wir unseren Diagnoseschlüssel auf das Kontrollkollektiv an. Dabei wurde 1 Kind (= 2,7%) ermittelt, das von uns die Diagnose Stenose erhalten würde (Erklärung siehe 4.2.1.).

3.1.2. Feststellung von Einflüssen auf die Ergebnisse der Kontrollgruppe

Um festzustellen, welche Merkmale einen Einfluß auf die gemessenen Werte bzw. Quotienten ausüben, wurden innerhalb des Kontrollkollektivs Gruppenaufteilungen nach folgenden Merkmalen vorgenommen:

1. linker Arm / rechter Arm
2. Rechtshänder / Linkshänder
3. Geschlecht
4. Alter zum Zeitpunkt der angiologischen Untersuchung, wobei wir folgende Untergruppen bildeten:

I Alter der Kinder: < 9,0 Jahre
II Alter der Kinder: ≥ 9,0 Jahre und < 13,0 Jahre
III Alter der Kinder: ≥13,0 Jahre

In diesen Untergruppen wurden Wertpaare bzw. Quotienten mit Hilfe verschiedener statistischer Tests (vgl. 2.3) verglichen, um herauszufinden, ob zwischen ihnen signifikante Unterschiede bestehen:

1. Um herauszufinden, ob Seitenunterschiede der ermittelten Werte bestehen, führten wir in der Gruppe der Rechtshänder bzw. in der Gruppe der Linkshänder jeweils den t-Test für paarige Stichproben für folgende Wertepaare durch:
p re/p li ; G/P re/ G/P li ; PF re/PF li.
Bei den Rechtshändern führten wir diesen Test im gesamten Kollektiv der Rechtshänder durch, sowie in einigen Untergruppen, die nach Geschlecht bzw. nach Alter eingeteilt wurden. Bei den Linkshändern prüften wir die Wertepaare nur im gesamten Kollektiv der Linkshänder auf signifikante Seitenunterschiede, da eine weitere Aufteilung in Untergruppen wegen der geringen Anzahl (n=3) nicht möglich war. Die Gruppeneinteilungen und Ergebnisse der Rechtshänder sind in Tabelle 3 im einzelnen dargestellt.

Gruppeneinteilung der Rechtshänder	Gruppengröße	Signifikanter Unterschied bzgl. des Wertepaares:
Gesamtkollektiv	34	p re/p li
I	13	p re/p li
II	10	p re/p li
III	11	-
II+III	21	p re/p li
alle Jungen	19	p re/p li
alle Mädchen	15	p re/p li

Tabelle 3: Ergebnisse des t-Tests für paarige Stichproben für die Wertepaare: p re/p li, G/P re/G/P li und PF re/PF li bei Rechtshändern (Signifikanz bei $\alpha < 0,05$)

Bei den Linkshändern gab es im Gesamtkollektiv der Linkshänder bei keinem der Wertepaare einen signifikanten Seitenunterschied ($\alpha < 0{,}05$).

Bei den Rechtshändern fanden sich für die Wertepaare G/P re / G/P li und PF re / PF li in keiner der gebildeten Gruppen signifikante Seitenunterschiede. Jedoch zeigte sich ein signifikanter Seitenunterschied (mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha < 0{,}05$) für das Wertepaar p re / p li sowohl im gesamten Kollektiv der Rechtshänder als auch in den gebildeten Untergruppen mit Ausnahme der Altersgruppe III (siehe Tabelle 3).

Aufgrund dieser signifikanten Seitenunterschiede für p bildeten wir bei den Rechtshändern den seitenvergleichenden Quotienten $Q_p = \frac{p\ re}{p\ li}$.
Da die Anzahl der Linkshänder zu klein ist, um als gesonderte Bezugsgruppe betrachtet werden zu können, und da wir auch bei den Linkshändern Seitenunterschiede vermuteten, faßten wir die Gruppen der Rechts- und Linkshänder zusammen. Dazu bildeten wir bei den Linkshändern den im Vergleich zu den Rechtshändern reziproken seitenvergleichenden Quotienten $Q_p = \frac{p\ li}{p\ re}$.
Dementsprechend gingen wir auch bei der Quotientenbildung für G/P, PF und K vor.

2. Für die auf diese Weise gebildeten Quotienten Q_p, $Q_{G/P}$, Q_{PF} und Q_K (also $\frac{p\ re}{p\ li}$, $\frac{G/P\ re}{G/P\ li}$, $\frac{PF\ re}{PF\ li}$ und $\frac{K\ re}{K\ li}$ bei Rechtshändern; bzw. $\frac{p\ li}{p\ re}$, $\frac{G/P\ li}{G/P\ re}$, $\frac{PF\ li}{PF\ re}$ und $\frac{K\ li}{K\ re}$ bei Linkshändern) führten wir zwischen der Gruppe der Rechtshänder und der Gruppe der Linkshänder einen Mittelwertsvergleich durch. Dadurch wollten wir feststellen, ob es, statistisch betrachtet, erlaubt ist, die Gruppen der Rechts- und Linkshänder zusammenzufassen.

Bei keinem der Quotienten zeigte sich zwischen den Gruppen der Rechts- und Linkshänder eine signifikante Abweichung der Mittelwerte.
Dies besagt, daß sich die Zusammenfassung der Quotienten re/li bei Linkshändern und li/re bei Rechtshändern nicht als falsch erweist (siehe auch 4.2.2.).

3. Weiterhin versuchten wir festzustellen, ob das Geschlecht einen Einfluß auf die Ergebnisse der angiologischen Untersuchung hat, indem wir Mittelwertsvergleiche für die Quotienten Q_p, $Q_{G/P}$, Q_{PF} und Q_K zwischen der Gruppe aller Jungen und der Gruppe aller Mädchen durchführten. Zusätzlich führten wir Mittelwertsvergleiche für diese Quotienten auch in den verschiedenen Altersgruppen jeweils zwischen Jungen und Mädchen durch. Gruppeneinteilungen und Ergebnisse: siehe Tabelle 4.

Gruppe 1	Gruppengröße 1	Gruppe 2	Gruppengröße 2	Ergebnis:
alle Jungen (I-III)	20	alle Mädchen (I-III)	17	keine signifikanten Unterschiede der Mittelwerte
Jungen I	10	Mädchen I	5	
Jungen II	5	Mädchen II	5	
Jungen III	5	Mädchen III	7	
Jungen II+III	10	Mädchen II+III	12	

Tabelle 4: Mittelwertsvergleich für die Quotienten Q_p, $Q_{G/P}$, Q_{PF} und Q_K zwischen Jungen (Gruppe 1) und Mädchen (Gruppe 2) in verschiedenen Altersgruppen (Signifikanz bei $\alpha < 0{,}05$)

Für keinen der Quotienten zeigte sich in den verschiedenen Gruppen ein signifikanter Unterschied der Mittelwerte. Wir folgerten daraus, daß das Geschlecht keinen Einfluß auf die durch die angiologische Untersuchung gewonnenen seitenvergleichenden Quotienten hat.

4. Um festzustellen, ob das Alter der Kinder einen Einfluß auf die Quotienten Q_p, $Q_{G/P}$, Q_{PF} und Q_K ausübt, führten wir schließlich den Mittelwertsvergleich dieser Quotienten zwischen den verschiedenen Altersgruppen durch. Wir unterteilten unser Kontrollkollektiv in die Altersgruppen I, II, III und II+III (s.o.).
In Tabelle 5 sind die Gruppenvergleiche und Ergebnisse dargestellt.

Alters-Gruppe A	Alters-Gruppe B	signifikante Unterschiede der Mittelwerte für:
I	II	Q_p
I	III	-
II	III	Q_p
I	II+III	-

Tabelle 5: Mittelwertsvergleiche für die Quotienten Q_p, $Q_{G/P}$, Q_{PF} und Q_K zwischen verschiedenen Altersgruppen des Kontrollkollektivs (Signifikanz bei $\alpha<0,05$)

Für die Quotienten $Q_{G/P}$, Q_{PF} und Q_K gab es bei keinem Mittelwertsvergleich zwischen den verschiedenen Altersgruppen signifikante Unterschiede.
Dagegen zeigte der Quotient Q_p signifikante Unterschiede ($\alpha<0,05$) zwischen den Altersgruppen I und II, bzw. II und III. Aus diesen signifikanten Unterschieden schlossen wir, daß das Alter der Kinder einen Einfluß auf den seitenvergleichenden Quotienten Q_p ausübt. Folglich ist es nicht

gerechtfertigt, die Kontrollgruppe als ganzes als Bezugsgruppe für die Kinder des Patientenkollektivs heranzuziehen. Deshalb bildeten wir verschiedene Altersgruppen. Der Vergleich der Mittelwerte der Altersgruppen I und III ergab einen signifikanten Unterschied für Q_p bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 0{,}11$.
Dies erschien uns ausreichend, um die Altersgruppen I und III getrennt zu betrachten.

Zusammenfassung: Aufgrund der Ergebnisse der durchgeführten statistischen Tests, teilten wir das Kontrollkollektiv ohne Berücksichtigung des Geschlechts in die Altersgruppen I ($< 9{,}0$ Jahre), II ($\geq 9{,}0$ Jahre und $< 13{,}0$ Jahre) und III ($\geq 13{,}0$ Jahre) ein.
Bei der Bildung der seitenvergleichenden Quotienten verwendeten wir

$\frac{\text{Meßwert des rechten Armes}}{\text{Meßwert des linken Armes}}$ bei Rechtshändern und

$\frac{\text{Meßwert des linken Armes}}{\text{Meßwert des rechten Armes}}$ bei Linkshändern.

Die Mittelwerte ($\bar{x}$) und Standardabweichungen (s) der apparativ gemessenen Werte und Quotienten für die Altersgruppen I, II und III sind in den Tabellen 6 bis 8 im einzelnen aufgeführt.

untersuchter Parameter	Mittelwert $\bar{x}$	Standardabweichung s	Gruppengröße n	Einheiten
p re	109,0	7,5	15	mm Hg
p li	105,9	4,7	15	mm Hg
Q_p	1,03	0,04	15	-
G/P re	0,197	0,058	15	-
G/P li	0,204	0,056	15	-
$Q_{G/P}$	0,97	0,07	15	-
PF re	40,9	14,4	10	ml/min/100ml Gewebe
PF li	33,4	9,3	10	ml/min/100ml Gewebe
Q_{PF}	1,20	0,42	10	-
Q_K	1,01	0,20	15	-

Tabelle 6: Mittelwerte und Standardabweichungen der Altersgruppe I (<9,0 Jahre) für verschiedene Werte und Quotienten (Abkürzungen siehe Tabelle 1)

untersuchter Parameter	Mittelwert $\bar{x}$	Standardabweichung s	Gruppengröße n	Einheiten
p re	120,6	4,7	10	mm Hg
p li	112,3	5,8	10	mm Hg
Q_p	1,08	0,04	10	-
G/P re	0,173	0,042	10	-
G/P li	0,170	0,037	10	-
$Q_{G/P}$	1,02	0,07	10	-
PF re	42,0	12,6	9	ml/min/100ml Gewebe
PF li	38,0	14,4	9	ml/min/100ml Gewebe
Q_{PF}	1,16	0,28	9	-
Q_K	1,11	0,14	10	-

Tabelle 7: Mittelwerte und Standardabweichungen der Altersgruppe II (≥9,0 Jahre und <13,0 Jahre) für die verschiedenen Werte und Quotienten (Abkürzungen siehe Tabelle 1)

untersuchter Parameter	Mittelwert $\bar{x}$	Standardabweichung s	Gruppengröße n	Einheiten
p re	118,8	11,4	12	mm Hg
p li	117,8	10,8	12	mm Hg
Q_p	1,01	0,03	12	-
G/P re	0,166	0,055	12	-
G/P li	0,166	0,049	12	-
$Q_{G/P}$	0,99	0,12	12	-
PF re	34,1	10,9	12	ml/min/100ml Gewebe
PF li	34,8	7,2	12	ml/min/100ml Gewebe
Q_{PF}	0,97	0,25	12	-
Q_K	0,93	0,13	12	-

Tabelle 8: Mittelwerte und Standardabweichungen der Altersgruppe III (≥13,0 Jahre) für die verschiedenen Werte und Quotienten (Abkürzungen siehe Tabelle 1)

3.2. Ergebnisse des Patientenkollektivs

3.2.1. Untersuchungsergebnisse

Durch die Anwendung des Diagnoseschlüssels stellten wir bei 14 der 52 Kinder eine Stenose fest (siehe Anmerkung zu Abb. 12). Das entspricht 26,9% des gesamten Patientenkollektivs. Die Werte, die zu dieser Diagnose führten, sind in Tabelle 9 im einzelnen aufgeführt.

1. Anamnese:

a) Die Mutter eines jetzt 9jährigen Kindes, das als 3 Monate alter Säugling katheterisiert worden war, gab an, daß das Kind nach der Herzkatheteruntersuchung den katheterisierten Arm nicht bewegt habe. Nach etwa einem halben Jahr habe sich das wieder normalisiert.
Bei diesem Kind konnte aufgrund unserer angiologischen Untersuchung keine Stenose festgestellt werden.
Eine gefäßchirurgische Revision war bei keinem der Kinder notwendig geworden.

b) Zum Zeitpunkt der angiologischen Untersuchung bestehende Beschwerden, die in Zusammenhang mit der Herzkatheteruntersuchung gebracht werden können (z.B. Claudicatio intermittens), lagen bei keinem der Kinder vor.

c) Das Patientenkollektiv setzte sich aus 5 Linkshändern und 47 Rechtshändern zusammen.

d) Über Frakturen, Verletzungen oder Erkrankungen, die die Blutgefäße der Arme betreffen, wurde nicht berichtet.

2. Inspektion: Bei keinem der Kinder wurden Auffälligkeiten oder trophische Störungen beobachtet.

3. Muskeltonus: Bei einem Kind stellten wir am linken nicht katheterisierten Arm einen erhöhten Muskeltonus fest. Dadurch war die Aussagefähigkeit des Oszillogramms eingeschränkt (vergleiche 4.3. 1. und 4.1.2.2.).

Pat Nr.	1)	2)	3)	Pulsstatus A.rad. re	A.rad. li	A.uln. re	A.uln. li	A.brach re	A.brach li	Q_p	Δp	$Q_{G/P}$	ΔOI	Q_{PF}	PF-time re/li	Gefäß-diagnose
1	li	re	I	(+)	+	(+)	(+)	(+)	+	1,11 p	+10 p	0,82 p	0 N	1,32 N	15/15 N	Stenose
2	re	re	I	+	+	+	+	+	+	0,90 p	-10 p	1,09 N	-10 p	0,84 N	15/15 N	Stenose
3	re	re	I	+	+	+	(+)	+	+	0,90 p	-11 p	1,20 p	-20 p	-	-	Stenose
4	re	re	I	(+)	+	-	(+)	(+)	+	0,85 p	-17 p	1,20 p	-20 p	-	-	Stenose
5	re	li	I	+	(+)	+	-	+	(+)	1,30 p	+21 p	-	-	1,32 N	15/15 N	Stenose
6	re	re	I	+	+	+	+	+	+	0,82 p	-24 p	1,31 P	0 N	0,92 N	15/ 0 N	Stenose
7	re	re	I	-	+	-	-	(+)	+	0,56 p	-43 P	1,27 P	-	0,45 N	30/15 p	Stenose
8	re	re	II	(+)	+	(+)	+	(+)	+	0,94 p	- 7 N	2,08 p	0 N	0,75 N	0/ 0 N	Stenose
9	re	re	II	+	+	+	+	(+)	(+)	0,88 p	-13 p	1,08 N	-10 p	0,90 N	0/ 0 N	Stenose
10	li	re	II	+	+	-	+	-	+	1,32 p	+28 p	0,77 p	+20 p	1,52 N	15/15 N	Stenose
11	re	re	III	+	+	+	+	+	+	0,89 p	-16 p	-	-	0,86 N	15/15 N	Stenose
12	li	re	III	+	+	(+)	(+)	(+)	+	1,19 p	+20 p	0,93 N	0 N	2,27 p	30/15 p	Stenose
13	re	re	III	+	+	(+)	+	-	+	0,75 p	-29 p	1,15 N	-	0,41 p	15/15 N	Stenose
14	re	re	III	+	+	+	+	(+)	+	0,75 p	-32 p	1,22 N	-10 p	0,80 N	15/15 N	Stenose

2 Sonderfälle, mit je zwei retrograden Herzkathetern:

S 1	re	re re	III	+	+	+	+	+	+	1,14 N	+15 N	0,54 N	10 N	0,91 N	15/15 N	gesund
S 2	re	li re	I	+	-	+	-	+	-	1,17 p	+16 p	0,84 N	0 N	-	-	Stenose links

Tabelle 9: Angiologische Daten, die der Gefäßdiagnose "Stenose" zugrunde liegen.
Im unteren Teil: Daten der 2 Kinder mit je zwei retrograden Herzkathetern
Abkürzungen: 1)=dominanter Arm, 2)=katheterisierter Arm, 3)=Altersgruppe,
p= pathologisch, N= im Normbereich, siehe auch Tabelle 1
Diagnoseschlüssel: Abb. 12, Normalwerte: Tabelle 6 bis 8

Da jedoch die anderen Meßwerte ebenso eindeutig im Normbereich lagen, erhielt das Kind von uns die Gefäßdiagnose gesund.

4. Armlängendifferenz: Durch die Meßungenauigkeit der Messung mit dem Maßband bedingt (siehe 4.3.1.), bewerteten wir nur Armlängenseitendifferenzen von über 1 cm. Da die Grenzwerte der Kontrollgruppe ($x \pm 2s$) innerhalb dieser Meßungenauigkeit lagen (Tabelle 2), wurden sie von uns hier nicht zur Grenzwertbildung herangezogen.
Eine Armverkürzung von 1,5 cm trat in der Gruppe der Kinder ohne Stenose bei einem Kind am katheterisierten Arm auf (2,6%), bei einem zweiten Kind trat sie am nicht katheterisierten Arm auf.
In der Gruppe der Kinder mit Stenose gab es keine Armlängendifferenz größer als 1 cm.
Daraus folgerten wir, daß die aufgetretenen Armverkürzungen nicht in Zusammenhang mit der retrograden Herzkatheteruntersuchung gebracht werden können.
Der Fisher-Yates-Test bestätigte diese Annahme ($p = 1,00$).

Nimmt man interessehalber als pathologischen Bereich Armlängendifferenzen von genau 1 cm und mehr zuungunsten des katheterisierten Armes, so finden sich in der Gruppe der Kinder ohne Stenose 5 Armverkürzungen (=13,2%) und in der Gruppe mit Stenose 2 Armverkürzungen (14,3%).
Auch bei diesem Grenzwert zeigt sich eine annähernd gleiche Häufigkeitsverteilung zwischen der Gruppe der Kinder ohne Stenose und der Gruppe der Kinder mit Stenose. Der Fisher-Yates-Test ergibt, daß diese Häufigkeitsverteilung mit der statistischen Wahrscheinlichkeit von $p = 1,00$ unabhängig von einer Stenose entstanden ist.
Aufgrund dieser Ergebnisse ziehen wir den Schluß, daß eine retrograde Herzkatheteruntersuchung vom Arm aus durch Arteriotomie nicht für diese Armlängendifferenzen verantwortlich zu machen ist (siehe auch 4.3.1.).

5. Armumfangsdifferenzen: Auch bei der Armumfangsmessung bewerteten wir wegen der Meßungenauigkeit nur Differenzen von mehr als 1 cm.

Eine Oberarmumfangsdifferenz von 1,5 cm zuungunsten des katheterisierten Armes wurde in der Gruppe der Kinder ohne Stenose einmal gemessen (2,6%).
Bei den Kindern mit Stenose gab es dreimal Differenzen von über 1 cm zuungunsten des katheterisierten Armes (21,4%), (2 Kinder mit 1,5 cm und 1 Kind mit 2 cm Seitendifferenz).
Der Fisher-Yates-Test zeigt eine Wahrscheinlichkeit von $p = 0{,}055$, daß diese Häufigkeitsverteilung unabhängig von einer Stenose entstanden ist.

Unterarmumfangsdifferenzen von 1,5 cm oder darüber traten bei keinem der Kinder ohne Stenose auf, dagegen bei 3 Kindern mit Stenose (21,4%).
Hier errechneten wir mit Hilfe des Fisher-Yates-Tests eine Wahrscheinlichkeit von $p = 0{,}016$, daß diese Häufigkeitsverteilung der Umfangsdifferenzen unabhängig vom Vorhandensein einer Stenose ist.
Aufgrund dieser geringen Wahrscheinlichkeit ist eine gewisse Abhängigkeit der Häufigkeitsverteilung der Umfangsdifferenzen vom Vorhandensein einer Stenose anzunehmen (siehe auch 4.3.1.).

6. Pulstastung: Über den Aa. radiales, Aa. ulnares und Aa. brachiales tasteten wir die Pulse, um Seitenunterschiede (+/(+); (+)/- oder +/-) zuungunsten der katheterisierten Seite festzustellen.
Tabelle 10 zeigt die Häufigkeit der getasteten Seitenunterschiede zuungunsten der katheterisierten Seite über den jeweiligen Arterien.
In der unteren Hälfte der Tabelle sind Häufigkeiten von Seitenunterschieden ohne Berücksichtigung eines bestimmten Tastortes aufgeführt, nämlich Pulsabschwächung über mindestens

Pulsabschwächung auf der katheterisierten Seite über	Kinder mit Stenose		Kinder ohne Stenose	
	absolute Häufigkeit	relative Häufigkeit	absolute Häufigkeit	relative Häufigkeit
der A. radialis	5	35,7 %	0	0 %
der A. ulnaris	5	35,7 %	3	7,9 %
der A. brachialis	8	57,1 %	4	10,5 %
mindestens einer Arterie	9	64,3 %	7	18,4 %
mindestens zwei Arterien	7	50,0 %	0	0 %
allen drei Arterien	3	21,4 %	0	0 %

Tabelle 10: Häufigkeiten getasteter Pulsabschwächungen auf der katheterisierten Seite gegenüber der Gegenseite über verschiedenen Tastorten

Pulsabschwächung auf der katheterisierten Seite über	falsch positiv	falsch negativ
der A. radialis	0 %	64,3 %
der A. ulnaris	7,9 %	64,3 %
der A. brachialis	10,5 %	42,9 %
mindestens einer Arterie	18,4 %	35,7 %
mindestens zwei Arterien	0 %	35,7 %
allen drei Arterien	0 %	78,6 %

Tabelle 11: Häufigkeiten falsch positiver und falsch negativer Ergebnisse bei alleiniger Verwendung von Pulsabschwächungen zur Diagnose einer Stenose

einer der drei Arterien, über mindestens zwei bzw. über allen drei Arterien.
Mit Hilfe des Fisher-Yates-Tests versuchten wir herauszufinden, ob die festgestellten Pulsabschwächungen in Zusammenhang mit einer Stenosebildung stehen. Wir führten diesen Test für die Häufigkeitsverteilung von Pulsabschwächungen über jedem der in Tabelle 10 aufgeführten Tastorte bzw. Tastortkombinationen durch.
Über der "A. ulnaris" und über "allen drei Arterien" ergab sich eine Wahrscheinlichkeit von $p < 0,05$, bei den restlichen 4 Tastorten bzw. Tastortkombinationen sogar $p < 0,01$.
Wir folgerten daraus, daß die in der Gruppe der Kinder mit Stenose relativ häufiger getasteten Pulsabschwächungen nicht "zufällig" entstanden sind, sondern daß eine Abhängigkeit vom Vorhandensein einer Stenose besteht.
Die Abhängigkeit kann jedoch durch den Fisher-Yates-Test nicht quantifiziert werden.

Will man die Pulstastung als Parameter zur Diagnosefindung verwenden, so interessiert vor allem, wie groß die Fehlerhäufigkeit ist, d.h.
1. wie häufig eine getastete Pulsabschwächung gar keiner Stenose entspricht (falsch positiv) oder
2. wie häufig keine Pulsabschwächung zu tasten ist, aber dennoch eine Stenose vorliegt (falsch negativ).
In Tabelle 11 sind die Häufigkeiten falsch positiver und falsch negativer Ergebnisse prozentual angegeben.

7. Grobe Kraft: In Bezug auf den Quotienten der groben Kraft Q_K lag kein Kind mit Stenose im pathologischen Bereich, jedoch 1 Kind ohne Stenose (2,6% der Kinder ohne Stenose).
Pathologisch bedeutet hier: $Q_K \leq \bar{x} - 2s$ für Fall 1 und $Q_K \geq \bar{x} + 2s$ für Fall 2.
Setzt man als Grenzwert nur die einfache Standardabweichung vom Mittelwert, so lagen 2 Kinder mit Stenose außerhalb des

Grenzwertes (14,3% der Kinder mit Stenose) und 5 Kinder ohne Stenose (13,2% der Kinder ohne Stenose).
Der Fisher-Yates-Test ergab für beide Grenzwerte eine große Wahrscheinlichkeit von jeweils p = 1,00, daß diese Häufigkeitsverteilung unabhängig vom Vorliegen einer Stenose, d.h. also "zufällig", entstanden ist.
Wir folgerten daraus, daß ein Seitenunterschied der gemessenen groben Kraft nicht durch eine Stenose der katheterisierten Arterie bedingt ist.

8. Blutdruckmessung nach Riva-Rocci: Die Korotkoff-Geräusche waren auf der katheterisierten Seite gegenüber der Gegenseite bei 9 Kindern mit Stenose (64,3%) abgeschwächt.
Bei den Kindern ohne Stenose waren es 6 Kinder (15,8%).
Der Fisher-Yates-Test ergab eine Wahrscheinlichkeit von nur p = 0,001, daß diese Häufigkeitsverteilung "zufällig" entstanden ist.
Wir schlossen daraus, daß die Häufigkeit von abgeschwächten Korotkoff-Geräuschen vom Vorhandensein einer Stenose abhängt (15,8% falsch positiv; 35,7% falsch negativ).

9. Blutdruckmessung mit Hilfe der Ultraschall-Doppler-Technik: Die Werte Q_p und Δp wurden (neben den Werten von OZ und VVP) verwendet, um zu einer Gefäßdiagnose zu kommen. Die Werte der Kinder, bei denen wir eine Stenose diagnostizierten, sind in Tabelle 9 im einzelnen aufgeführt.
Isoliert pathologische Werte für Q_p gab es bei 5 Kindern. Da Δp kleiner als 10 mm Hg und auch alle anderen Werte im Normbereich waren, wurden diese Kinder entsprechend unserem Diagnoseschlüssel als gesund eingestuft.
Isoliert pathologische Werte für Δp gab es nicht.
Bei den Kindern mit Stenose zeigte sich nur bei einem Kind eine Dopplerdruckdifferenz von weniger als 10 mm Hg. Bei allen anderen Kindern mit Stenose war auch Δp im pathologischen Bereich (vergleiche Tabelle 9).

10. Oszillographie: Bei 5 Kindern konnte aufgrund eines technischen Defekts kein Oszillogramm erstellt werden. Bei einem weiteren Kind war das statische Oszillogramm, bei einem anderen das dynamische Oszillogramm nicht auswertbar.
Isoliert pathologische Werte für $Q_{G/P}$ gab es nicht.
Isoliert pathologische Indexverschiebungen (ΔOI) traten bei 3 Kindern auf (2 mal 10 mm Hg und 1 mal 20 mm Hg).
Die Werte der Kinder mit Stenose sind in Tabelle 9 aufgeführt.

11. Venenverschlußplethysmographie: Bei 7 Kindern konnte aufgrund mangelnder Kooperation kein bzw. kein auswertbares VVP erstellt werden. Bei einem weiteren Kind war die Staumanschette im Verhältnis zum Oberarm zu breit.
Isoliert pathologische Werte für Q_{PF} bzw. PF-time traten bei keinem der Kinder auf (vergleiche auch Tabelle 9).

Weitere Ergebnisse: In einem zweiten Durchgang prüften wir unser Patientenkollektiv mit Hilfe des Diagnoseschlüssels, indem wir nur Seitenunterschiede zugunsten des katheterisierten Armes bzw. zuungunsten des nicht katheterisierten Armes bewerteten. Den Normbereich bzw. den pathologischen Bereich erhält man, indem man die Bereiche von Fall 1 mit denen von Fall 2 vertauscht (siehe 2.4.).
Dabei wurden 5 Kinder mit Seitenunterschieden erfaßt (9,6%) (siehe auch 4.3.1.).

Interessehalber werteten wir unser Patientenkollektiv nach den Kriterien anderer Autoren aus (vergleiche 4.3.3. und Tabelle 14):
- Wertet man als pathologisch: Pulsabschwächung über der A. radialis, A. ulnaris oder A. brachialis gegenüber der Gegenseite und Blutdruckdifferenzen von 10 mm Hg und mehr, so zeigt sich bei 30,8% der Patienten eine Puls-

abschwächung und bei 17,3% eine Blutdruckdifferenz. Bei 17.3% der Kinder liegen dann beide Werte im pathologischen Bereich.
- Eine Doppler-Druckdifferenz von über 10 mm Hg als alleiniges Diagnosekriterium ergibt bei 23,1% der Kinder einen pathologischen Wert.

Zwei Kinder sind nicht in den statistischen Auswertungen des Patientenkollektivs enthalten, da sie jeweils zweimal katheterisiert wurden (siehe Tabelle 9 unten), und somit nicht unmittelbar mit den anderen katheterisierten Kindern vergleichbar sind:
Bei einem Kind, das zweimal vom gleichen Arm aus retrograd katheterisiert worden war, wurde keine Stenose diagnostiziert.
Bei dem anderen Kind, das von beiden Armen aus je einmal katheterisiert worden war, zeigte sich am linken Arm eine Stenose (siehe Anmerkung zu Abb. 12). Die hämodynamischen Parameter zeigten deutlich schlechtere Werte gegenüber dem rechten Arm. Die Angaben des Herzkatheterprotokolls bestätigten unsere Diagnose. Das Gefäß mußte damals unterbunden werden. Es liegt hier demnach eine gesicherte Okklusion vor.
Über die Durchblutungssituation am rechten Arm war es uns durch diese Untersuchung nicht möglich, eine eindeutige Aussage zu machen, da wir die Diagnose ja auf seitenvergleichende Parameter stützten. Wir können jedoch die Vermutung äußern, daß der rechte Arm gefäßgesund ist, da die Absolutwerte im Normbereich lagen und auch die entsprechenden Pulse gut tastbar waren.

3.2.2. Zusammenhänge zwischen Stenosehäufigkeit und verschiedenen Faktoren in Verbindung mit der Herzkatheteruntersuchung

Es war für uns von Interesse, ob bestimmte Faktoren, die im Zusammenhang mit der Herzkatheteruntersuchung stehen, einen Einfluß auf die Stenosehäufigkeit ausübten. Dazu untersuchten wir folgende Faktoren:

1. Alter des Kindes zum Zeitpunkt der Herzkatheteruntersuchung
2. Dauer der Herzkatheteruntersuchung
3. Verwendete Kathetergröße
4. Erfahrung des Untersuchers (A = geübter Untersucher; B = weniger geübter Untersucher)
5. Geschlecht
6. Zeitlicher Abstand zwischen Herzkatheteruntersuchung und angiologischer Untersuchung
7. Komplikation am peripheren Gefäßsystem vor oder unmittelbar nach der Herzkatheteruntersuchung und andere Auffälligkeiten

Beziehung zwischen den Faktoren 1 bis 4 untereinander:

Da auch zwischen diesen Faktoren selbst Zusammenhänge bestehen können, versuchten wir mit Hilfe statistischer Tests solche Zusammenhänge aufzudecken bzw. auszuschließen. Dazu korrelierten wir die Faktoren 1 bis 3 untereinander, errechneten den Korrelationskoeffizienten und prüften diesen auf Signifikanz.

Dies führten wir zunächst im gesamten Patientenkollektiv (n=52) durch:

Dabei ergab sich ein hochsignifikanter Korrelationskoeffizient (mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha<0,01$) von $r = 0,468$ zwischen dem Alter der Kinder zum Zeitpunkt der Herzkatheteruntersuchung und der verwendeten Kathetergröße (1-3). Dieses Ergebnis besagt, daß bei älteren Kindern größere Katheter verwendet wurden. Zwischen den anderen Faktoren (1-2; 2-3) ergab sich kein signifikanter Korrelationskoeffizient ($\alpha < 0,05$).

Dieselben Korrelationen führten wir auch in der Untergruppe der Kinder mit Stenose (n=14) bzw. ohne Stenose (n=38) durch:
In der Gruppe der Kinder mit Stenose ergab sich keine signifikante Korrelation ($\alpha < 0,05$) zwischen den Faktoren 1 bis 3.
Dagegen zeigte sich in der Gruppe der Kinder ohne Stenose (ebenso wie im gesamten Patientenkollektiv) ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Alter der Kinder zum Zeitpunkt der Herzkatheteruntersuchung und der verwendeten Kathetergröße ($\alpha<0,05$).
Zusätzlich zeigte sich noch eine signifikante Korrelation zwischen dem Alter der Kinder zum Zeitpunkt der Herzkatheteruntersuchung und der Herzkatheterdauer (1-2). Das besagt, daß in der Gruppe der gefäßgesunden Kinder die Herzkatheteruntersuchung bei älteren Kindern im allgemeinen länger dauerte als bei jüngeren Kindern.
Zwischen den anderen Faktoren (2-3) ergab sich kein signifikanter Korrelationskoeffizient.

Den Zusammenhang zwischen der Erfahrung des Untersuchers und den anderen Faktoren untersuchten wir mit einer Kreuztabelle:

1. Alter der Kinder zum Zeitpunkt der Herzkatheteruntersuchung:

10 der von A untersuchten 35 Kinder waren jünger als 1 Jahr (28,6%) bei B waren es 3 von 17 (17,6%).
Dies besagt, daß die geübteren Untersucher verhältnismäßig mehr Säuglinge katheterisierten als die weniger geübten Untersucher. Eine signifikante Abweichung des Durchschnittsalter zwischen den von A und B untersuchten Kindern konnte jedoch mit Hilfe des t-Tests für unabhängige Stichproben nicht nachgewiesen werden.

2. Dauer der Herzkatheteruntersuchung:
9 der von den geübteren Untersuchern durchgeführten 35 Herzkatheteruntersuchungen dauerten weniger als 1 Viertelstunde (25,7%). Bei B betrug der Anteil 23,5% (4 von 17).
Weniger als 1 Stunde dauerten bei A 28 Untersuchungen (80,0%) bei B waren es 13 (76,5%).
Es besteht also bezüglich der Häufigkeitsverteilung der benötigten Zeit für eine retrograde Herzkatheteruntersuchung kein wesentlicher Unterschied zwischen geübteren und weniger geübten Untersuchern.

3. Verwendete Kathetergröße:
Bei 40% der von A durchgeführten Herzkatheteruntersuchungen (14 von 35) wurde die Kathetergröße 6 French verwendet.
Bei B waren es dagegen 47,1% (8 von 17).
Die weniger geübten Untersucher verwendeten also im Verhältnis größere Katheterdurchmesser als die geübteren Untersucher. Da bei älteren Kindern im allgemeinen größere Katheterdurchmesser verwendet werden (s.o.), stimmt diese Aussage damit überein, daß die weniger geübten Untersucher im Verhältnis mehr ältere Kinder untersuchten als die geübteren Untersucher.

Beziehung zwischen einzelnen Faktoren und der Stenosehäufigkeit:

1. Das durchschnittliche Alter zum Zeitpunkt der Herzkatheteruntersuchung in den Gruppen der Kinder mit bzw. ohne Stenose ist aus Tabelle 12 ersichtlich. Die einzelnen Altersangaben wurden auf volle Jahre abgerundet. (Graphische Darstellung der Altersverteilung in Abbildung 13).
Mit Hilfe des t-Tests für unabhängige Stichproben stellten wir fest, daß die Mittelwerte zwischen beiden Gruppen nicht signifikant ($\alpha<0,05$) voneinander verschieden sind.
Um jedoch auch noch die Erfahrung des Untersuchers mitzuberücksichtigen, führten wir den t-Test für unabhängige Stichproben für das Durchschnittsalter zwischen den Kindern ohne Stenose bzw. mit Stenose sowohl bei den von A untersuchten Kindern als auch bei den von B untersuchten Kindern durch.

Mittelwerte und Standardabweichungen für die Faktoren:	Kinder mit Stenose			Kinder ohne Stenose		
	$\bar{x}$	s	n	$\bar{x}$	s	n
Alter zum Zeitpunkt der Herzkatheteruntersuchung (Jahre)	3,0	3,5	14	3,8	3,1	38
Dauer der Herzkatheteruntersuchung (min)	66	36	14	46	36	38
Kathetergröße (French)	5,3	0,5	14	4,5	0,6	38
Abstand zwischen Herzkatheter- und angiologischer Untersuchung (Jahre)	6,6	1,4	14	7,3	1,9	38

Tabelle 12: Mittelwerte, Standardabweichungen und Gruppengröße für verschiedene Faktoren in Verbindung mit der Herzkatheteruntersuchung

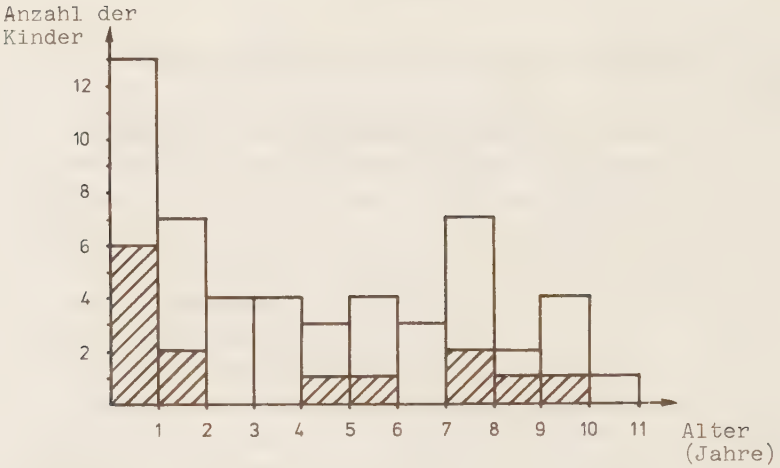

Abbildung 13: Häufigkeitsverteilung des Alters der Kinder zum Zeitpunkt der Herzkatheteruntersuchung

ohne Stenose mit Stenose

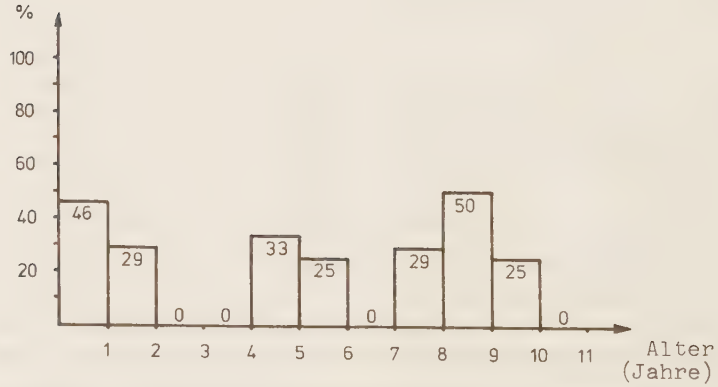

Abbildung 14: Relative Stenosehäufigkeit in Abhängigkeit vom Alter der Kinder zum Zeitpunkt der Herzkatheteruntersuchung

prozentualer Anteil der Kinder mit Stenose an der Gesamtzahl der katheterisierten Kinder im jeweiligen Altersintervall

Bei beiden Tests ergaben sich keine signifikanten Abweichungen des Durchschnittsalters.
Wir folgerten daraus, daß das Alter zum Zeitpunkt der Herzkatheteruntersuchung keinen wesentlichen Einfluß auf die Stenosehäufigkeit ausübt.

2. Die durchschnittliche Dauer der Herzkatheteruntersuchung ist für die Kinder der Gruppe mit bzw. ohne Stenose ebenfalls aus Tabelle 12 ersichtlich. In Abb. 15 und 16 ist die Häufigkeitsverteilung der Kinder in Abhängigkeit von der Katheterdauer, bzw. die prozentuale Stenosehäufigkeit dargestellt. Mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 0{,}077$ besagt der t-Test für unabhängige Stichproben, daß sich die Mittelwerte der beiden Gruppen signifikant unterscheiden. In der Gruppe der Kinder mit Stenose dauerte die Herzkatheteruntersuchung im Durchschnitt also länger als in der Gruppe der Kinder ohne Stenose.

3. Der t-Test für unabhängige Stichproben zeigt keinen signifikanten Unterschied ($\alpha < 0{,}05$) zwischen den gemittelten Kathetergrößen der Gruppe der Kinder mit bzw. ohne Stenose. (siehe Tabelle 12 und Abb. 17)
Der Fisher-Yates-Test erbrachte eine Wahrscheinlichkeit von $p = 0{,}37$, daß die Häufigkeitsverteilung der Kinder mit Stenose bei Kathetergröße 5 und 6 French unabhängig vom Katheterdurchmesser entstanden ist.
Daraus folgt, daß die verwendete Kathetergröße keinen Einfluß auf die Stenosehäufigkeit ausübte.

4. Bei den von den geübteren Untersuchern (A) durchgeführten 35 Herzkatheteruntersuchungen zeigten sich 8 Stenosen (22,9%). Bei den weniger geübten Untersuchern waren es 6 von 17 (35,3%). Der durch den Fisher-Yates-Test errechnete Wert war $p = 0{,}504$.
Hieraus scheint zu folgen, daß die Erfahrung des Untersuchers keinen statistisch signifikant nachweisbaren Ein-

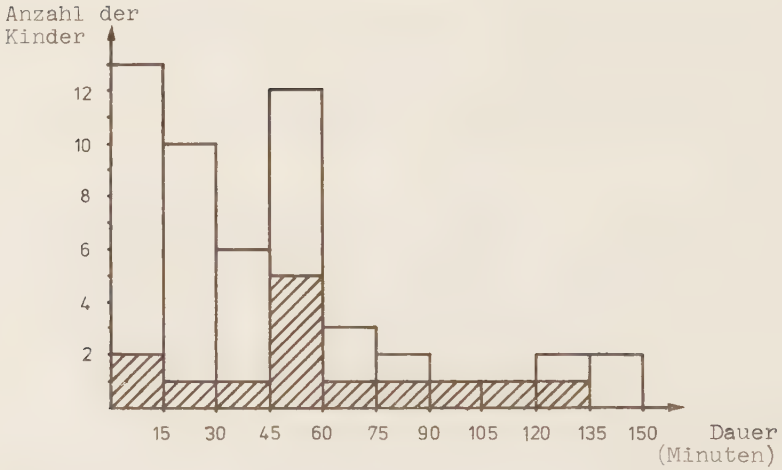

Abbildung 15: Häufigkeitsverteilung der Herzkatheterdauer
ohne Stenose mit Stenose

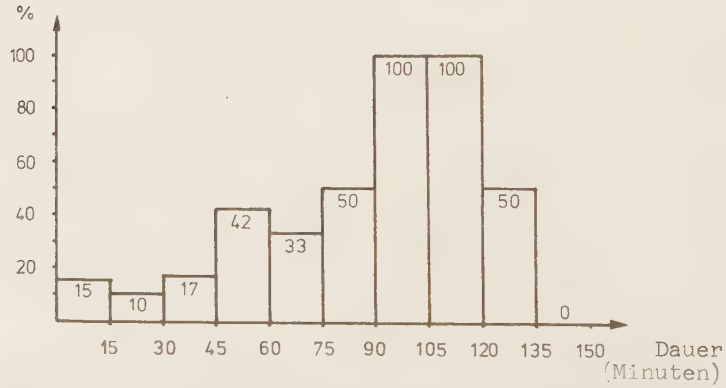

Abbildung 16: Relative Stenosehäufigkeit in Abhängigkeit von der Dauer der Herzkatheteruntersuchung

prozentualer Anteil der Kinder mit Stenose an der Gesamtzahl der katheterisierten Kinder im jeweiligen Katheterdauerintervall

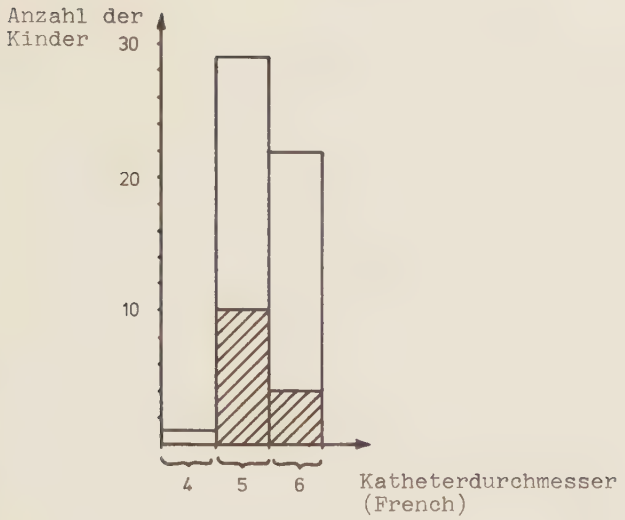

Abbildung 17: Häufigkeitsverteilung der verwendeten Kathetergrößen

ohne Stenose mit Stenose

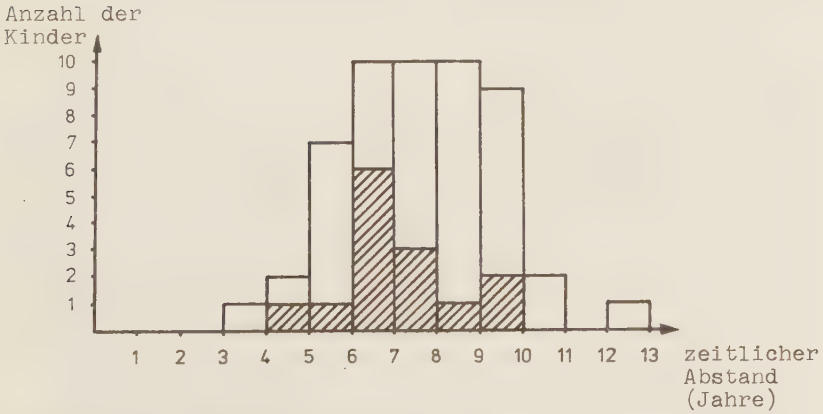

Abbildung 18: Häufigkeitsverteilung des zeitlichen Abstandes zwischen Herzkatheteruntersuchung und angiologischer Untersuchung

ohne Stenose mit Stenose

fluß auf die Stenosehäufigkeit ausübt (vergleiche 4.3.2.).

Da hierbei jedoch das Alter der Kinder zum Zeitpunkt der Herzkatheteruntersuchung nicht berücksichtigt ist, untersuchten wir noch die Stenosehäufigkeit bei Säuglingen (jünger als 1 Jahr). Bei A zeigten sich 3 Kinder mit Stenosen von 10 katheterisierten Säuglingen (30%), bei B hatten alle 3 Säuglinge eine Stenose (100%). Mit Hilfe des Fisher-Yates-Tests prüften wir die Wahrscheinlichkeit mit der diese Häufigkeitsverteilung unabhängig von der Erfahrung des Untersuchers, also "zufällig", entstanden ist. Es ergab sich ein Wert von $p = 0,07$.
Dies besagt, daß bei Säuglingen die Stenosehäufigkeit mit großer Wahrscheinlichkeit von der Erfahrung des Untersuchers abhängt.
Diesen Test führten wir auch für die Stenosehäufigkeitsverteilung bei Kindern, die älter als 1 Jahr waren, durch. A: 20% Stenosen (5 von 25), B: 21,4% Stenosen (3 von 14). Dabei zeigte sich, daß die Erfahrung des Untersuchers bei älteren Kindern keinen Einfluß auf die Stenosehäufigkeit ausübt (Fisher-Yates-Test: $p = 1,00$).

5. Geschlechtsverteilung:
Von den 14 Kindern mit Stenose waren 5 Kinder Mädchen (22,7% der Mädchen) und 9 Jungen (30% der Jungen).
Bei den Kindern ohne Stenose war das Verhältnis 17:21 (77,3% : 70,0%).
Wir berechneten mit Hilfe des Fisher-Yates-Test die statistische Wahrscheinlichkeit, daß diese Stenosehäufigkeitsverteilung unabhängig vom Geschlecht d.h. also "zufällig" entstanden ist. Es ergab sich eine Wahrscheinlichkeit von $p = 0,753$. Erst bei einer Wahrscheinlichkeit von $p < 0,05$ sahen wir uns berechtigt, eine Abhängigkeit der Stenosehäufigkeit vom Geschlecht als statistisch gesichert zu betrachten.

Wir folgern also daraus, daß sich (statistisch) keine Abhängigkeit der Stenosehäufigkeit vom Geschlecht feststellen läßt.

6. Weiterhin versuchten wir festzustellen, ob sich möglicherweise die hämodynamischen Auswirkungen nach retrogradem Herzkatheter im Laufe der Jahre verbessern.
Dazu führten wir den t-Test für abhängige Stichproben durch zwischen der Gruppe der Kinder mit Stenose und der Gruppe der Kinder ohne Stenose in Bezug auf den mittleren Abstand zwischen Herzkatheter- und angiologischer Untersuchung (siehe Abb. 18, Zahlenwerte in Tabelle 12).
Würden sich die hämodynamischen Parameter im Laufe der Jahre bei den Kindern wesentlich verbessern, so würden diese Kinder von uns als gesund diagnostiziert werden, d.h. in der Gruppe der Kinder ohne Stenose müßten wir einen signifikant längeren Abstand zwischen Herzkatheter- und angiologischer Untersuchung finden.
Es konnte jedoch kein signifikanter Unterschied gefunden werden. Eine Verbesserung der hämodynamischen Parameter im Laufe der Jahre läßt sich hier demnach statistisch nicht nachweisen.

7. Da die Angaben über Komplikationen im Zusammenhang mit der Herzkatheteruntersuchung nicht standardisiert waren und eine vollständige Erfassung aller Komplikationen nicht gewährleistet war, verzichteten wir auf eine statistische Auswertung und beschränkten uns im folgenden auf die deskriptive Darstellung der diesbezüglichen Ergebnisse:

Kind A: Nach der Herzkatheterisierung eines 7 Monate alten Säuglings wurde eine Durchblutungsstörung im katheterisierten Arm beobachtet. Es wurde 5 Tage lang 2 x 1/4 Tablette Aspirin gegeben. Daraufhin normalisierte sich die Durchblutung wieder. Aufgrund der angiologischen Untersuchung wurde bei

dem mittlerweile 7jährigen Kind eine Stenose festgestellt; die Pulse über der A. radialis und der A. brachialis waren auf der katheterisierten Seite abgeschwächt. Vermutlich lag schon damals kurz nach der Herzkatheteruntersuchung eine Stenose oder Okklusion vor. Da sich jedoch sehr schnell ein Kollateralkreislauf ausbildete, verschwanden die sichtbaren Durchblutungsstörungen. Diese Stenose ohne klinische Symptomatik wurde durch unsere apparativen Untersuchungen aufgedeckt.

Kind B: Bei der Entlassung eines 6jährigen Kindes nach Herzkatheterisierung war der Puls am katheterisierten Arm abgeschwächt. Bei ihm wurde 6 Jahre nach der Herzkatheteruntersuchung ebenfalls eine Stenose festgestellt. Die Pulse waren jedoch über allen Tastorten seitengleich tastbar. Vermutlich lag auch bei diesem Kind eine Stenose oder Okklusion vor, die für die Pulsabschwächungen verantwortlich war. Offensichtlich bildeten sich die Kollateralen so gut aus, daß sogar die Pulse wieder tastbar wurden und die Stenose nur apparativ feststellbar war.

Kind C: Bei einem 7jährigen Jungen wurde eineinhalb Jahre nach der Herzkatheteruntersuchung am katheterisierten rechten Arm ein im Vergleich zur Gegenseite um 25 mm Hg niedriger nur palpierbarer Blutdruck festgestellt. Diese Blutdruckdifferenz hatte laut Arztbrief vor der Herzkatheteruntersuchung nicht bestanden.
Bei der angiologischen Untersuchung war der Blutdruck auch am rechten Arm wieder auskultatorisch feststellbar, wenn auch die Korotkoff-Geräusche sehr leise waren. Die Blutdruckmessung mit der Dopplersonde zeigte rechts sogar geringfügig

höhere Blutdruckwerte (re: 103 mm Hg; li: 102 mm Hg), die Pulse waren an allen Tastorten seitengleich und auch die sonstigen Parameter waren im Normbereich. Es wurde keine Stenose diagnostiziert.
Die bei unserer Untersuchung festgestellten seitengleichen Blutdruckwerte stehen in scheinbarem Widerspruch zu den eineinhalb Jahre nach der Herzkatheteruntersuchung festgestellten Druckwerten. Dies könnte damit erklärt werden,
a) daß sich die angiologische Situation verbessert hat, z.B. durch Bildung eines ausgeprägten Kollateralkreislaufs oder durch Rekanalisation des Gefäßes und/oder
b) daß die Blutdruckmessung mit Hilfe der Dopplersonde die Blutdruckwerte zutreffender erfaßt als die Palpation.
Die Tatsache, daß die Korotkoff-Geräusche, wenn auch sehr leise, wieder hörbar waren, spricht eher dafür, daß sich die angiologische Situation gebessert hat. Eine genaue Abklärung ist an dieser Stelle ohne zusätzliche Untersuchungen nicht möglich.

Kind D: Beim Versuch, bei einem 6jährigen Kind einen Katheter der Größe 6 French einzuführen, trat ein Gefäßspasmus auf. Daraufhin wurde die Katheteruntersuchung mit einem Katheter der Größe 5 French durchgeführt.
Bei der angiologischen Untersuchung erwies sich das Kind als gefäßgesund. Sämtliche Werte lagen im Normbereich.
Der beschriebene Gefäßspasmus hatte offensichtlich keine Auswirkungen, die in unserer Untersuchung hätten festgestellt werden können.

Kind E: Nachdem bei einem 6jährigen Kind eine größere

Gefäßnaht notwendig geworden war, trat eine stärkere Nachblutung ein, die jedoch wieder beherrscht wurde.
Auch dieses Kind erhielt die Gefäßdiagnose gesund. Alle Werte lagen im Normbereich. Die notwendig gewordene etwas größere Gefäßnaht führte demnach nicht zu einer hier nachweisbaren Stenose.

3.3. Zusätzliche Informationen aus den angiologischen Untersuchungsergebnissen

Korrelation der angiologischen Parameter

Da wir uns zur Diagnosefindung auf mehrere apparativ ermittelte Parameter stützten, interessierte uns, inwieweit diese Parameter miteinander korrelieren. Bekanntlich verwendeten wir ja seitenvergleichende Quotienten unter Berücksichtigung der Beziehung zwischen dominantem und katheterisiertem Arm (Fall 1, bzw. Fall 2, siehe 2.4.). Da gleichsinnige Abweichungen der seitenvergleichenden Quotienten vom Mittelwert für Fall 1 und Fall 2 unterschiedliche Aussagen machen, müssen diese beiden Gruppen getrennt betrachtet werden. Wir errechneten den Korrelationskoeffizienten (r) zwischen den Parametern Q_p - $Q_{G/P}$, Q_p - Q_{PF} und $Q_{G/P}$ - Q_{PF} und prüften diesen auf Signifikanz. Wegen der geringen Anzahl der Kinder, auf die Fall 2 zutrifft (n=6), beschränkten wir uns bei der Berechnung des Korrelationskoeffizienten auf die Gruppe der Kinder, auf die der Fall 1 zutrifft (n=48). Die kleineren Gruppengrößen entstanden dadurch, daß bei wenigen Kindern entweder $Q_{G/P}$ oder Q_{PF} fehlte.

- Es ergab sich eine signifikante Korrelation (r=-0,45) zwischen Q_p und $Q_{G/P}$ mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha<0,01$ (n=40) (vergleiche Abb. 19).

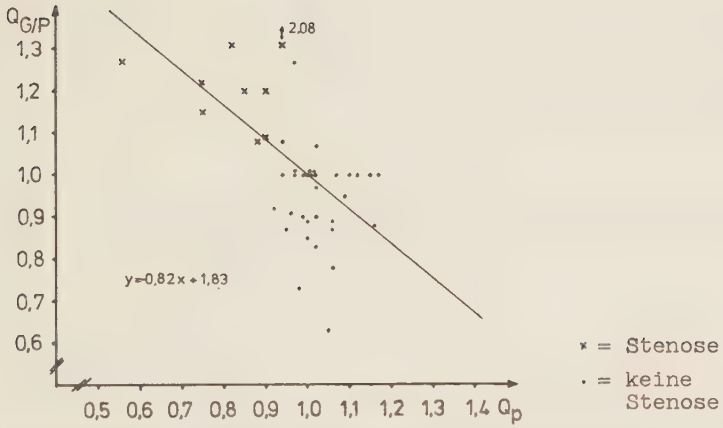

Abbildung 19: Regressionsgerade für die Wertepaare Q_p und $Q_{G/P}$

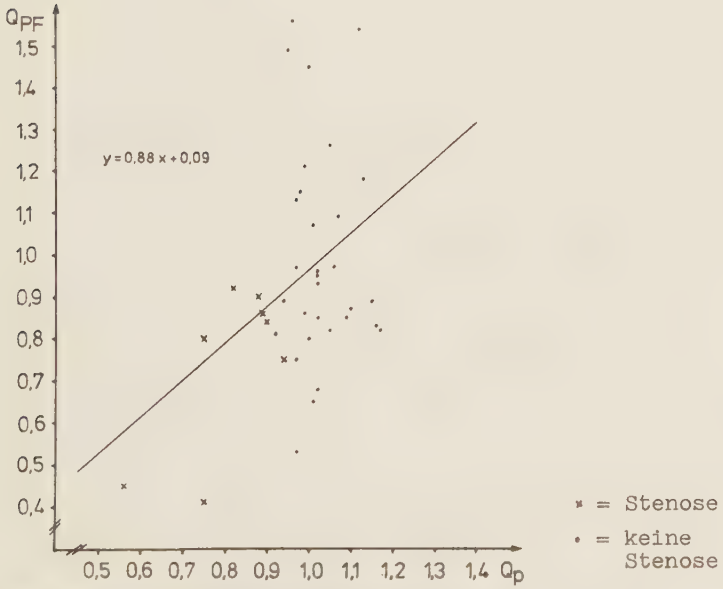

Abbildung 20: Regressionsgerade für die Wertepaare Q_p und Q_{PF}

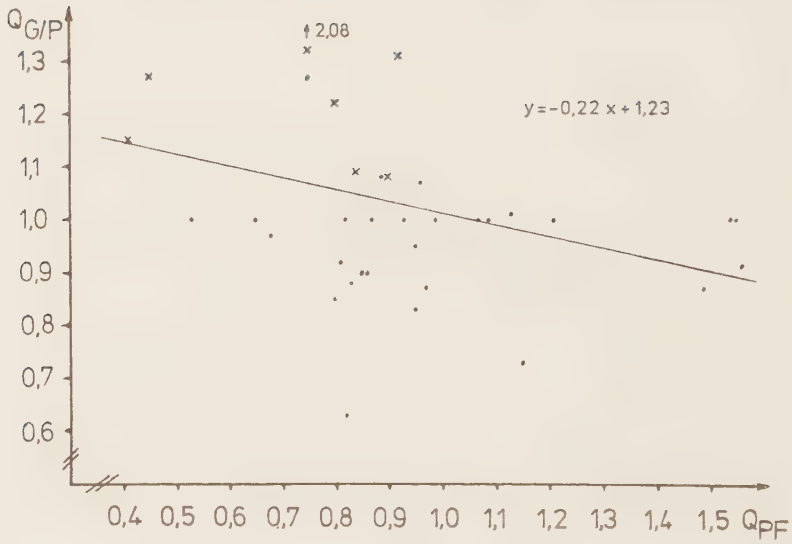

Abbildung 21: Regressionsgerade für die Wertepaare Q_{PF} und $Q_{G/P}$

× = Stenose
· = keine Stenose

- Auch zwischen Q_p und Q_{PF} ergab sich eine signifikante Korrelation ($r=0{,}39$, $\alpha < 0{,}02$, $n=37$) (vergleiche Abb. 20).
- Für den Zusammenhang von $Q_{G/P}$ und Q_{PF} ($r=0{,}23$) konnte jedoch kein signifikanter Korrelationskoeffizient nachgewiesen werden ($\alpha < 0{,}10$, $n=33$) (vergleiche Abb. 21).

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß zwischen Q_p und $Q_{G/P}$ bzw. Q_p und Q_{PF} statistisch betrachtet ein signifikanter funktionaler Zusammenhang besteht (vergleiche 2.3. und 4.4.).

Trendanalyse

Nachdem wir mit Hilfe unseres Diagnoseschlüssels die Kinder mit Stenose aus dem Patientenkollektiv herausfinden konnten, interessierte uns, ob die Gruppe der als gefäßgesund diagnostizierten Kinder als Ganzes bezüglich der seitenvergleichenden Quotienten Q_p, $Q_{G/P}$ und Q_{PF} einen "Trend zum Pathologischen" zeigt. Wir verglichen deshalb die Mittelwerte dieses Quotienten der als gefäßgesund diagnostizierten Kinder mit denen der Kontrollgruppe.
Für die gefäßgesunden Kinder war es nötig, in Fall 1 und Fall 2 (siehe oben) zu unterscheiden. Da Fall 2 nur auf zwei gefäßgesunde Kinder zutraf, verglichen wir nur die Mittelwerte von Fall 1 mit der Kontrollgruppe. Dazu verwendeten wir den t-Test für unabhängige Stichproben, bzw. bei inhomogener Varianz den Mittelwertsvergleich nach Aspin-Walch. Wir führten die Mittelwertsvergleiche zwischen den Gefäßgesunden und dem Kontrollkollektiv durch sowohl im gesamten Kollektiv als auch in den verschiedenen Altersuntergruppen.
Beim Vergleich der Mittelwerte von Q_p, $Q_{G/P}$ und Q_{PF} zeigte sich zwischen der gesamten Gruppe der Gefäßgesunden und der gesamten Kontrollgruppe sowie in den Altersuntergruppen II und III kein signifikanter Unterschied zuungunsten der katheterisierten Seite.
Lediglich in der Altersgruppe I wich der Mittelwert von

Q_p der gefäßgesunden Kinder signifikant um 4,7 mm Hg vom Mittelwert der entsprechenden Kontrollgruppe zuungunsten der katheterisierten Seite ab ($\alpha < 0,05$). Für die Quotienten $Q_{G/P}$ und Q_{PF} gab es in der Altersgruppe I keine signifikanten Unterschiede (vergleiche 4.4.).

4. DISKUSSION

4.1. Methoden - Diskussion

4.1.1. Begründung des von uns verwendeten Seitenvergleichs

Um den Einfluß eines retrograden Herzkatheters auf die Durchblutung der entsprechenden Extremität nachzuweisen, gibt es verschiedene methodische Ansatzpunkte:

1. Vergleich von angiologischen Absolutwerten der katheterisierten Extremität mit Werten einer Kontrollgruppe: Dieses methodische Vorgehen ist mit dem Nachteil behaftet, daß, durch die Herzkrankheit selbst bedingt, die hämodynamischen Werte stark variieren können. So beschreibt z.B. MORTENSEN (53), daß 80% der Kinder mit valvulärer Aortenstenose einen gegenüber dem Normalwert erhöhten Peak-Flow-Wert zeigten. Der Einfluß der Herzkrankheit könnte jedoch dadurch eliminiert werden, daß jedes Kind mit retrogradem Herzkatheter an einem entsprechenden Kontrollkollektiv gemessen wird, dem die gleiche Herzkrankheit zugrunde liegt. Der Vorteil liegt darin, daß keine Werte vor der Herzkatheteruntersuchung vorliegen müssen, und somit eine retrospektive Studie durchgeführt werden kann (vergleiche unten).

2. Vergleich von angiologischen Absolutwerten, die vor einer retrograden Herzkatheteruntersuchung ermittelt wurden mit solchen, die danach ermittelt wurden:
Vorteil: Durch den intraindividuellen Vergleich wird die Fehlerquote, die bei einem interindividuellen Vergleich durch die Streubreite der Einzelwerte bedingt ist, eliminiert.
Nachteil: Es gibt auch intraindividuelle Schwankungen der Meßwerte zu verschiedenen Zeitpunkten. a) SCHÜTZ (71) stellt z.B. fest, daß intraindividuelle Spontanschwankungen der in der Phase der reaktiven Hyperämie gemessenen Durchblutungswerte bis zu $\pm$ 20 - 30% auftreten. b) Häufig wird die Herz-

katheteruntersuchung bei Kindern auch zur Indikationsstellung für Herz- bzw. Gefäßoperationen herangezogen. Nach einer solchen Operation ist es jedoch häufig nicht mehr möglich zu unterscheiden, ob veränderte angiologische Werte auf die Operation oder auf den Einfluß des retrograden Herzkatheters zurückzuführen sind.

3. Vergleich der angiologischen Werte der katheterisierten Extremität mit der kontralateralen Extremität:
Der Vorteil besteht darin, daß bei Kindern mit Herzkrankheiten, die keinen Seitenunterschied in der Hämodynamik der entsprechenden Extremitäten hervorrufen, durch Seitenvergleich der Einfluß eines retrograden Herzkatheters erfaßt werden kann. SCHÜTZ (72) bestätigt dieses Vorgehen. Er beschreibt, daß die gesunde kontralaterale Seite beim VVP als Vergleich herangezogen werden kann.
Dieses methodische Vorgehen ist jedoch nur möglich, wenn sichergestellt ist, daß auf die andere Extremität keine Einflüsse ausgeübt werden, die die Hämodynamik verändern. Deshalb müssen Kinder mit einseitigen Gefäßveränderungen ausgeschlossen werden.

Aus diesem Grund entschieden wir uns für den Seitenvergleich (wie unter Punkt 3 beschrieben). Folglich mußten wir Kinder, bei denen einseitige Einflüsse auf die Durchblutung einer Extremität bestanden, von unserer Untersuchung ausschließen (siehe 2.1.2.).

Als noch vorteilhafter würde sich ein Vergleich von Seitenunterschieden vor und nach einer Herzkatheteruntersuchung erweisen. Dies war jedoch bei dieser Untersuchungsreihe nicht möglich, da uns keine seitenvergleichenden angiologischen Werte vor der Herzkatheteruntersuchung vorlagen.

Um Seitenunterschiede quantitativ zu erfassen, besteht die Möglichkeit, seitenvergleichende Quotienten oder aber Dif-

ferenzen zu bilden. Wir haben die seitenvergleichenden Quotienten den Differenzen vorgezogen, da hierbei der gemessene Absolutwert nicht extra berücksichtigt werden muß:
Beim Vergleich eines Wertepaares mit hohen Absolutwerten mit einem Wertepaar mit niedrigeren Absolutwerten kann sich nämlich der seitenvergleichende Quotient ändern, während die Differenz gleichbleibt.
Beispiel: Eine Druckdifferenz von 10 mm Hg zwischen 130 und 120 mm Hg ergibt einen Quotienten von 1,08, während eine Druckdifferenz von 10 mm Hg zwischen 60 und 50 mm Hg einen Quotienten von 1,20 ergibt.

Begründung für die unterschiedliche Quotientenbildung bei Rechts- und Linkshändern: siehe 3.1.2. und 4.2.2.

4.1.2. Diskussion der angiologischen Diagnoseverfahren

4.1.2.1. Aussagefähigkeit und Grenzen der Blutdruckmessung mit Hilfe der Dopplersonde

Die Blutdruckmessung mit Hilfe der Ultraschall-Doppler-Technik zeichnet sich durch gute Aussagefähigkeit, einfache Handhabung und relativ geringe Störanfälligkeit aus. Dabei ist es wichtig, die möglichen Fehlerquellen zu kennen, um sie durch entsprechende Maßnahmen verringern oder ganz ausschalten zu können, und nicht zuletzt, um die ermittelten Ergebnisse richtig bewerten zu können.

Bei Erwachsenen zeigte GRÜNTZIG (33), daß die mit Hilfe der Doppler-Sonde gemessenen Arteriendrucke mit blutig gemessenen Werten distal von Verschlüssen gut übereinstimmen. Die Fehlerbreite entspricht etwa der Fehlerbreite der Blutdruckmessung nach Riva-Rocci (33).

THULESIUS (81) zeigte, daß die Bestimmung des systolischen Arteriendruckes in Ruhe mit der Doppler-Sonde zur Diagnose signifikanter Stenosen und Verschlüsse und zu deren Abgrenzung gegenüber unauffälligen Gefäßen geeignet ist. Dieser Ruhedruck korreliert auch signifikant mit dem klinischen Befund (85).
Allerdings sind reproduzierbare Meßergebnisse nur möglich, wenn sich der Patient zum Zeitpunkt der Blutdruckmessung tatsächlich in Ruhe befindet, da bei Vorliegen einer Stenose die Muskelbelastung zu einer Senkung des poststenotischen systolischen Drucks führt, der erst in Ruhe wieder langsam zum echten Ruhewert zurückkehrt. Deshalb wird von RUDOFSKY (64) eine Ruhezeit vor Beginn der Messung von 10 - 15 Minuten, von KÖHLER et al. (44) mindestens 15 Minuten gefordert.
Wir versuchten diese Ruhezeit einzuhalten, indem wir im Untersuchungsablauf Anamnese und klinischen Befund der Druckmessung voranstellten, während die Kinder schon auf der Untersuchungsliege ausruhen konnten.

Nach THULESIUS (81) kann auch die Wahl der Manschettenbreite die Meßergebnisse verfälschen. Dieser Einfluß wird jedoch in der von uns durchgeführten Untersuchung durch die Bildung des seitenvergleichenden Quotienten Q_p weitgehend ausgeschaltet.

Bei verändertem Gewebe über einer Arterie (z.B. eine Narbe nach einer Radialiskanüle zur kontinuierlichen Kontrolle des arteriellen Blutdrucks nach einer Herzoperation) suchten wir proximal davon einen unauffälligen Meßort für die Doppler-Sonde.
Wir achteten auch darauf, daß die Sonde nicht zu fest angedrückt wurde, da dadurch eine artifizielle Stenosierung hervorgerufen werden kann (44, 64).

Wiederholtes Aufpumpen der Manschette auf suprasystolische Werte kann vasokonstriktorische Regulationen auslösen und somit die Meßergebnisse verfälschen (64, 81). Deshalb versuchten wir die Manschette nur auf einen knapp suprasystolischen Wert aufzupumpen. Auf diese Weise gelang die Druckbestimmung in den meisten Fällen auf Anhieb. Da auch die reaktive Hyperämie der VVP solche vasokonstriktorischen Regulationsmechanismen auslöst, stellten wir diese Untersuchung ans Ende unseres Untersuchungsablaufes.

Wird der Druckwert beim Aufpumpen der Manschette abgelesen, so ergibt sich ein etwas niedrigerer Wert als beim Ablesen während des Ablassens des Staudruckes (81).
Aus diesem Grund stellten wir den Druck einheitlich beim Ablassen des Staudruckes fest.
Meßwertverfälschungen durch zu schnelles Ablassen des Manschettendrucks (64) vermieden wir weitgehend durch sorgfältiges Vorgehen.

KÖHLER et al. (44) machten darauf aufmerksam, daß auch nervöse Einflüsse die Untersuchungsergebnisse beeinflussen können. So versuchten wir nicht zuletzt durch die Anwesenheit der Eltern gute Voraussetzungen dafür zu schaffen, daß sich die Kinder während der Untersuchung beruhigen und entspannen konnten. Durch die Bildung des seitenvergleichenden Quotienten Q_p der unmittelbar nacheinander an den kontralateralen Extremitäten gemessenen Druckwerte verloren zudem auch nervöse Einflüsse an Bedeutung.

Da wir an jedem Arm zwei Druckwerte mit der Doppler-Sonde bestimmten (über der A. radialis und A. ulnaris) und jeweils den höheren Druckwert weiterverwendeten, wurden falsche Meßangaben, die aufgrund von Schwierigkeiten beim Auffinden der Arterie entstanden sind, weitgehend ausgeschlossen.

Aus den unter 4.1. geschilderten Gründen gaben wir dem seitenvergleichenden Quotienten Q_p den Vorrang gegenüber der seitenvergleichenden Differenz Δp.
Für Δp werden in der Literatur für die Diagnose einer Stenose sehr unterschiedliche Werte angegeben:
RAU (59) fordert dazu eine reproduzierbare Seitendifferenz des systolischen Blutdrucks von mindestens 30 mm Hg, SCHOOP (68) fordert mindestens 20 mm Hg Seitendifferenz und PUCHMAYER et al. (58) sprechen bei einer Differenz von 6-15 mm Hg von einer Stenose, bei größeren Differenzen sogar von einem Verschluß. SCHÜTZ (73) deutet allein schon das Auftreten von Seitendifferenzen am Arm als Hinweis auf eine Blutumlaufstörung.
Die Druckdifferenz Δp wurde von uns nur als diagnostischer Parameter eingesetzt, wenn Q_p bereits im pathologischen Bereich lag. Wir wählten eine Seitendifferenz von $\Delta p = 10$ mm Hg zuungunsten des katheterisierten Armes als Grenzwert. (Nur bei einem Kind, das aufgrund der pathologischen Parameter Q_p und OZ die Gefäßdiagnose Stenose erhalten hatte, lag Δp unter 10 mm Hg).

4.1.2.2. Aussagefähigkeit und Grenzen der Pulsregistrierung mit Hilfe der elektronischen Oszillographie

Für die Frühdiagnose der chronischen AVK liefert das statische Oszillogramm entscheidende Kriterien (41). Stenosierende Gefäßprozesse werden durch das statische Oszillogramm früher als durch das dynamische Oszillogramm erfaßt (57), welches nach SCHÜTZ (72) mehr qualitative Hinweise für die Diagnose liefert. Nach RAU (59) bietet das statische und dynamische Oszillogramm nach Belastung noch zuverlässigere Aussagen. Wir verzichteten jedoch auf diesen Belastungstest, da wir einen Belastungstest mit Hilfe der VVP durchführten.

Gegenüber der Ultraschall-Doppler-Technik sind die Meßwerte der Pulsregistrierung wesentlich störanfälliger und empfindlicher. So spielen verschiedene Parameter des Herz-Kreislaufsystems eine Rolle wie z.B. das Herzzeitvolumen, der Systemblutdruck, die Atem- und Herzfrequenz und die Beschaffenheit der Gefäßwandung (7, 41, 72). Aber auch kreislaufaktive Substanzen, Herzglykoside (45) oder Nikotin (45, 57) üben einen Einfluß aus, der jedoch, da er meist seitengleich ist, durch Bildung von seitenvergleichenden Quotienten weitgehend eliminiert werden kann.
Nach SCHÜTZ (72) wirkt sich auch eine Seitendifferenz des Muskeltonus auf die Ergebnisse aus. Die dadurch bedingte eingeschränkte Aussagefähigkeit wurde von uns entsprechend berücksichtigt (siehe 3.2.1.).
Für die Untersuchung ist es wichtig, daß sie in einem warmen Raum stattfindet (41, 57) (siehe 2.2.1.) und erst nach einer genügend langen Ruhezeit beginnt (45, 57). KAPPERT (41) fordert bei kalten und aufgeregten Patienten eine Ruhezeit von 30 Minuten, die wir durch entsprechende Anordnung des Untersuchungsablaufes einzuhalten versuchten. Da sich die Lagerung des Patienten negativ auf die Untersuchungsergebnisse auswirken kann (45, 57), berücksichtigten wir dies, indem wir darauf achteten, daß die Meßmanschette etwa in Herzhöhe plaziert war und die Oberarme leicht vom Oberkörper abgespreizt waren.

Narben, Ödeme oder ausgeprägte Adipositas am Meßort, die ebenfalls die Meßergebnisse beeinflussen können (41, 57, 72), traten bei unseren Patienten praktisch nicht auf und spielten deshalb keine Rolle.
Umfangsdifferenzen der entsprechenden Extremitätenabschnitte (72) wurden wie bei der Blutdruckmessung durch Bildung des seitenvergleichenden Quotienten relativ unwichtig. Beim Anlegen der Manschetten ist darauf zu achten (45, 57, 72), daß sie eng den entsprechenden Extremitätenabschnitt umschließen und die Luftschläuche nicht über einer größeren

Arterie abgehen. Damit die Unterlage keinen Druck auf die Meßmanschette ausüben konnte, legten wir die Hände der Kinder auf ein Kissen, so daß die Manschette in der Luft schwebte. Da ein hoher Staudruck vasokonstriktorische Regulationsmechanismen auslösen und damit die Werte des statischen Oszillogramms verfälschen kann (41, 57), wurde die Manschette bei der Blutdruckmessung immer nur kurzzeitig auf suprasystolische Werte aufgepumpt (siehe unter 9.).
Da auch die Unterbrechung des venösen Rückflusses das Kurvenbild des statischen Oszillogramms verändert (57), versuchten wir den Manschettendruck bei der Registrierung möglichst nur kurzzeitig aufrechtzuerhalten.

Die Verwendung mehrgipfliger Kurven, die nach KAPPERT (41) durch Tonusschwankungen der Gefäße zustande kommen, konnte dann nicht umgangen werden, wenn eingipflige Pulskurven trotz Beseitigung der erwähnten Störfaktoren nicht zu erhalten waren. In solchen Fällen ist die Aussagefähigkeit von $Q_{G/P}$ eingeschränkt.
Da sich die Gipfelzeit als empfindlichster und zuverlässigster Parameter des statischen Oszillogramms gezeigt hat (7, 41, 57, 72), verwendeten wir diesen als Parameter für das statische Oszillogramm und verzichteten auf die Verwertung der Inklinationszeit. Besonders in Frühfällen der arteriellen Verschlußkrankheit (mit denen die von uns diagnostizierten Stenosen vergleichbar sind) hat sich die Gipfelzeit als zuverlässigstes Kriterium erwiesen (41).

Der oszillometrische Index (OI) des dynamischen Oszillogramms ist nach KAPPERT (41) ebenfalls sehr aussagekräftig. SCHÜTZ (72) unterstreicht, daß dieser Parameter zwar für die Diagnostik am sichersten verwertbar ist, jedoch nur qualitative Aussagen machen kann.

Die Amplitudengröße im dynamischen Oszillogramm wurde von uns wegen ihrer Ungenauigkeit nicht berücksichtigt. Sie

unterliegt spontanen Schwankungen (72). Bei Wiederholung des dynamischen Oszillogramms in kurzer Folge, wie es bei unruhigen Kindern manchmal nötig ist, wird die Amplitude größer (57). Nach KAPPERT (41) ermöglichen erst Seitendifferenzen von über 30% eine diagnostische Aussage.

4.1.2.3. Aussagefähigkeit und Grenzen der Durchblutungsmessung mit Hilfe der Venenverschlußplethysmographie

Die durch die Venenverschlußplethysmographie ermittelten Durchblutungswerte der reaktiven Hyperämie machen eine Aussage über vorhandene Funktionsreserven.
BOLLINGER (10) fand, daß eine spontane Besserungstendenz im Ablauf der reaktiven Hyperämie mit zunehmender Dauer der AVK eintritt, für die ein verbesserter Kollateralkreislauf verantwortlich sei. SCHÜTZ (72) zieht daraus den Schluß, daß sich die Durchblutung während der reaktiven Hyperämie zur Beurteilung vorhandener funktioneller Reserven eignet. Sicherlich nicht geeignet ist die VVP zu einer Beurteilung, die eine Gradeinteilung von Stenosen vornimmt. BIENMÜLLER (7) zeigt nämlich auf, daß eine Einengung des Gefäßlumens auf 30% des Ausgangslumens noch normale Durchblutungswerte zeigen kann.
EHRINGER (29) hält die reaktive Hyperämie für die objektive Beurteilung des Kompensationsgrades einer Durchblutungsstörung für sehr geeignet. Entsprechend läßt ein normales VVP (auch bei Stenosen oder Verschlüssen) keine klinischen Beschwerden erwarten.

Wir bezogen die Durchblutungswerte auf eine Gewebseinheit von 100 ml, in der das Knochengewebe enthalten ist. BARBEY et al. (3) und BUB (15) berechneten die Durchblutungswerte auf 100 ml Weichteilgewebe. Da die Volumenänderung ja nur die Weichteile betrifft, wurde versucht, das Knochenvolumen rechnerisch zu eliminieren. Wie viele

andere Autoren (10, 53), bezogen auch wir den Knochenanteil in die Berechnung mit ein, da es unseren Nachforschungen zufolge für Kinder noch keine Umrechnungstabellen gibt, aus denen man aus dem Umfang der Gliedmaße auf das Weichteilvolumen schließen kann.

In der Literatur sind Einflüsse beschrieben, welche die mit Hilfe der VVP ermittelten Durchblutungswerte verfälschen.
Ein Teil dieser Faktoren sind für uns von untergeordneter Bedeutung, da sie sich bei Bildung des seitenvergleichenden Quotienten weitgehend eliminieren. Jedoch müssen diese Faktoren berücksichtigt werden, wenn unsere ermittelten Absolutwerte mit denen anderer Untersucher verglichen werden sollen.
So stellten BETHGE et al. (6) Einflüsse der Meßmanschettenbreite und des Staudrucks auf die Meßergebnisse fest. Besonders bei dicken Extremitäten kann ein Drosseldruck von 50 mm Hg nicht mehr ausreichen, um tief verlaufende Venen zu verschließen. Man erhält demnach zu niedere Werte, da ein Teil des venösen Blutes unbemerkt abfließen kann.
CALEYA et al. (18) stellten unterschiedliche Ergebnisse bei verschieden hoch gelagerten Extremitäten fest. Ebenso betont BOLLINGER (10), daß eine Bestimmung der VVP-Werte nur in Horizontallage oder bei angehobener Gliedmaße möglich ist, da sich die venösen Speicher zwischen zwei Messungen entleeren sollen, was bei herabhängenden oder tiefer gelagerten Extremitäten nicht gewährleistet ist. Er weist auch auf die Abhängigkeit der Durchblutungswerte vom Herzzeitvolumen hin (10). Je stärker die Förderleistung des Herzens eingeschränkt ist, desto tiefer liegt im Durchschnitt die Unterarmdurchblutung.
Auch führt eine quantitative Veränderung der korpuskulären Blutbestandteile zu abweichenden Durchblutungswerten während der reaktiven Hyperämie (10).

Weiterhin kann eine Verfälschung der Meßergebnisse entstehen, wenn auf die Meßmanschette von außen Druck ausgeübt wird. Wir verhinderten das, indem wir unter die Hand ein Kissen legten, so daß die Manschette über der Unterlage schwebte.
Ein zu hoher Staudruck in der Meßphase kann den arteriellen Einstrom behindern, so daß zu niedere Werte gemessen werden (6). Wir verwendeten deshalb durchgehend bei der Messung einen Staudruck von 50 mm Hg. Bei diesem Druck scheint der arterielle Einstrom nicht behindert zu sein, und gleichzeitig erfolgt eine totale Unterbindung des venösen Rückstromes (72).

Einige Fehler und Ungenauigkeiten sind der VVP immanent (systematische Fehler). Jedoch verlieren auch diese für uns ihre Bedeutung durch Bildung des seitenvergleichenden Quotienten, da die Fehler beide Seiten in gleicher Weise betreffen:
LEHTOVIRTA et al. stellten 1974 fest, daß die Auswertung der Einflußkurven während der Hyperämie im Vergleich zu 133 Xe-Clearence einen um durchschnittlich 40% zu niederen Wert ergibt (46).
SCHÜTZ (71) beschreibt Spontanschwankungen der Durchblutungswerte sowohl bei Gesunden als auch bei Kranken um ± 20 - 30% um den arithmetischen Mittelwert bei mehrmaligen, zeitlich hintereinanderliegenden Messungen. Diese Schwankungen sind möglicherweise im Sinne von Schwankungen des Vasomotorentonus zu deuten (72). Da jedoch der Vasomotorentonus vermutlich im wesentlichen durch das vegetative Nervensystem beeinflußt wird, dürften durch solche Schwankungen keine Seitendifferenzen hervorgerufen werden. Die Gefahr, daß bei funktionseingeschränkten Patienten durch die Spontanschwankungen zu hohe Werte gemessen werden, und sie dadurch als gesund eingestuft werden, läßt sich zudem bannen, indem die PF-time bestimmt wird. Bei Gesunden liegt der maximale Einstrom (PF) immer innerhalb der ersten

15 Sekunden. Bei Gefäßverschlüssen werden im allgemeinen Werte weit über 15 Sekunden erreicht. Nur vereinzelt kann bei gut kollateralisierten Verschlüssen eine PF-time von 15 Sekunden beobachtet werden (71, 87).

Nach BETHGE et al. (6) ergibt sich auch die Möglichkeit, daß oberflächlich verlaufende arterielle Kollateralen bei einem Drosseldruck von 50 mm Hg bereits artifiziell stenosiert werden. Auf diese Weise werden zu niedere Werte ermittelt. Die Gefahr ist bei breiteren Meßmanschetten geringer als bei schmäleren. Durch diese einseitige artifizielle Stenose kann sich der von uns verwendete seitenvergleichende Quotient ändern. Dies spielt jedoch insofern für uns keine Rolle, da wir lediglich das Vorhandensein bzw. Fehlen einer Stenose an der Arteriotomiestelle nachweisen wollten. Das Vorhandensein eines Kollateralkreislaufs ist ja die Folge einer Stenose oder eines Verschlusses. Ein veränderter Quotient sagt daher aus, daß entweder 1. eine Stenose oder ein Verschluß vorliegt, der nicht voll durch Kollateralen kompensiert ist oder 2. ein oberflächlich verlaufender Kollateralkreislauf artifiziell stenosiert wird.
In beiden Fällen erfolgt also eine gleichsinnige Veränderung des seitenvergleichenden Quotienten und läßt sich auf eine Stenose zurückführen.

Außerdem können Fehler und Ungenauigkeiten durch unterschiedliche Auswertung der Einflußkurven auftreten (10). GRAF (32) zeigte, daß, bei Auswertung nicht linearer Einflußkurven durch verschiedene Untersucher, Abweichungen von durchschnittlich 3 - 5%, gelegentlich sogar bis zu 23% entstehen können.
Dies ist zu berücksichtigen beim Vergleich unserer Absolutwerte mit denen anderer Untersucher. Für unsere Untersuchung selbst hat dies jedoch keine große Auswirkungen, da wir sowohl beim Kontrollkollektiv als auch beim Patien-

tenkollektiv immer nach denselben Kriterien (siehe 2.2.2.) ausgewertet haben, und sich die Abweichungen zudem durch den seitenvergleichenden Quotienten weitgehend eliminieren.

Nach BOLLINGER (10) beträgt die durchschnittliche Fehlerbreite 10 - 15%, wenn alle möglichen Fehlerquellen addiert werden. In dieser Zahl sind apparative, reaktive (d.h. in der Methode selbst begründete) und Auswertungsfehler enthalten. SCHÜTZ (72) spricht von einer Fehlerbreite von 10%.

4.1.3. Vergleich der Aussagefähigkeit der beschriebenen apparativen angiologischen Methoden und Diskussion des Diagnoseschlüssels

In der Literatur ist wiederholt über die Zusammenhänge zwischen den Parametern der Ultraschall-Doppler-Technik, des Oszillogramms und der VVP bei der Diagnostik von Stenosen berichtet worden. Viele Untersuchungen wurden an Beinen von Erwachsenen mit AVK durchgeführt, da diese häufige Krankheit sich hauptsächlich in den Beinarterien manifestiert. Da bei keinem unserer Kinder klinische Symptome oder Beschwerden (z.B. Claudicatio intermittens) auftraten, entsprechen möglicherweise vorhandene Stenosen der AVK Stadium I nach Fontaine-Ratschow. Deshalb lassen sich die meisten Aussagen zur Diagnostik der AVK Stadium I wohl ohne weiteres auf unser Patientenkollektiv anwenden.

Zusammenhang zwischen systolischem Blutdruck und VVP:

Mehrere Autoren berichten übereinstimmend (12, 68, 69), daß eine signifikante Korrelation zwischen dem systolischen Ruhedruck (p) und dem Peak Flow (PF) der VVP besteht. BOLLINGER (11) errechnete einen signifikanten Korrelationskoeffizienten zwischen p (über der A. dorsalis pedis gemessen) und dem PF der Wade von $r = 0{,}88$.
Trotz dieser signifikanten Korrelation zwischen p und PF,

zeigten jedoch p und PF unterschiedliche Korrelationen zum klinischen Befund. Während der PF keine signifikante Korrelation mit dem klinischen Befund zeigte (57, 85), konnte YAO et al. (85) einen solchen Zusammenhang zwischen dem systolischen Druckwert p und dem klinischen Befund nachweisen.
Daß p besonders aussagefähig ist, zeigte BIENMÜLLER (7), der den Grad von Gefäßquerschnitteinengungen mit Parametern verschiedener angiologischer Untersuchungen in Beziehung setzte. Er kam zu dem Schluß, daß der systolische Druckwert bei Stenosen am empfindlichsten von allen hämodynamischen Untersuchungsparametern reagiert. Schon eine Einengung des Gefäßlumens auf 75% über eine Länge von 3 cm bewirkt einen poststenotischen Druckabfall, während dagegen bei einer Einengung auf den kritischen Gefäßquerschnitt von 20 - 30% poststenotisch noch ein normaler PF gemessen werden kann. Deshalb ist für BIENMÜLLER ein poststenotisch erniedrigter Druck unter Umständen das erste und einzige Kriterium für einen stenosierenden Gefäßprozeß (7).
Auch KÖHLER et al. (43) und BRESLAU et al. (14) messen der Doppler-Methode in der Praxis größere Bedeutung als der VVP zu.

Zusammenhang zwischen systolischem Blutdruck und Oszillogramm:

Auch zwischen der Gipfelzeit (G) des statischen Oszillogramms und dem systolischen Blutdruck (p) wurde eine signifikante Korrelation sowohl bei Gesunden als auch bei Patienten mit beidseitiger Beinarteriopathie nachgewiesen (55). KÖNIG (45) mißt dem elektronischen Oszillogramm eine große Aussagefähigkeit hinsichtlich der Gesamtdurchblutung einer Extremität zu. Dies stimmt mit BIENMÜLLERS (7) Feststellung überein, daß eine isolierte Stenose einer großen Arterie bei guter Kollateralisierung nur zu Veränderungen der systolischen Blutdruckwerte führt, während die Parameter des Oszillogramms und der VVP trotzdem unverändert bleiben

können, wenn die Gesamtdurchblutung ausreichend gut ist. Auch MÜLLER et al. (55) konnten zeigen, daß p durch eine Stenose stärker verändert wird als G.

Zusammenhang zwischen Oszillogramm und VVP:

SCHÜTZ (72) berichtet, daß zwischen den Parametern des Oszillogramms und der VVP eine gute Übereinstimmung besteht.

Diagnoseschlüssel:

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß der Blutdruckbestimmung mit der Ultraschall-Doppler-Technik gegenüber dem Oszillogramm und der VVP bei der Diagnostik von Stenosen die größere Bedeutung zukommt. Deshalb haben wir den systolischen Blutdruck bei der Aufstellung unseres Diagnoseschlüssels besonders gewichtet.

Wenn bei einem Kind als einziger pathologischer Parameter eine oszillometrische Indexverschiebung vorlag, so wurde es noch als gefäßgesund betrachtet, da auch in unserer Kontrollgruppe bei 4 Kindern eine isolierte Indexverschiebung vorkam.
Ein isoliert pathologischer $Q_{G/P}$ zeigte sich weder bei einem Kind des Kontrollkollektivs noch bei einem Kind des Patientenkollektivs.
Auch ein isoliert pathologischer Q_{PF} wurde bei keinem Kind festgestellt. Dies war auch nicht zu erwarten, da der mit Hilfe der Dopplersonde gemessene systolische Blutdruck schon bei geringen Einschränkungen der Durchgängigkeit großer Arterien mit einem poststenotischen Druckabfall reagiert, während die VVP, die ja Aussagen über die Gesamtdurchblutung macht, noch normale Werte anzeigen kann (s.o.).

Von einem Teil unseres Patientenkollektivs (n=26) wurden die durch die angiologische Untersuchung ermittelten Daten

einem erfahrenen Angiologen vorgelegt, der unabhängig von unserem Diagnoseschlüssel zu einer Gefäßdiagnose kam. Anschließend werteten wir diese Daten mit Hilfe unseres Diagnoseschlüssels aus. Dabei zeigte sich eine völlige Übereinstimmung der Diagnosen. Wir sahen darin eine Bestätigung unseres Diagnoseschlüssels.

4.2. Diskussion der Kontrollgruppe

4.2.1. Diskussion der Ergebnisse der Kontrollgruppe

Um die Untersuchungsergebnisse der Kinder des Patientenkollektivs richtig beurteilen zu können, waren Normalwerte für Kinder bezüglich der verschiedenen Untersuchungsmethoden erforderlich.
In der Literatur fanden sich zwar für einige Parameter Normalwerte für Kinder, jedoch nur für die Absolutwerte (53). Für seitenvergleichende Quotienten bei Kindern gab es unseren Nachforschungen zufolge in der Literatur keine Normalwerte. Deshalb stellten wir mit Hilfe einer Kontrollgruppe die notwendigen Normalwerte für Kinder auf (siehe 3.1.1.).

Interessehalber wendeten wir unseren Diagnoseschlüssel auch auf unser Kontrollkollektiv (nur gefäßgesunde Kinder) an. Dabei ergab sich bei einem Kind die Diagnose Stenose (2,7% falsch positiv, vergleiche 3.1.1.). Dieser scheinbare Widerspruch erklärt sich durch die dem Diagnoseschlüssel zugrunde liegenden statistischen Voraussetzungen. Als Normbereich wurde der Bereich der zweifachen Standardabweichung um den Mittelwert der Quotienten festgelegt, in dem sich etwa 95% der Werte befinden, d.h. wenn man als Grenze die zweifache Standardabweichung festlegt, muß man mit einer Häufigkeit falsch positiver Ergebnisse von etwa 5% rechnen.

Hätten wir allein schon beim Vorliegen einer Druckdifferenz von $\Delta p \geq 10$ mm Hg von einer Stenose gesprochen, hätte sich eine Häufigkeit von 10,8% falsch positiver Ergebnisse gezeigt. Wir sahen darin eine Bestätigung unserer Entscheidung, im Diagnoseschlüssel auch die natürliche Streubreite von Q_p um den Mittelwert zu berücksichtigen.

4.2.2. Diskussion zur Feststellung von Einflüssen auf die Ergebnisse der Kontrollgruppe

Für das Wertepaar p re/p li fanden wir mit Hilfe des t-Tests für paarige Stichproben bei den Rechtshändern signifikant höhere Werte des rechten Arms gegenüber dem linken Arm sowohl innerhalb der Gesamtgruppe der Rechtshänder als auch in einigen nach Alter gebildeten Untergruppen.
Wir stellten daraufhin die Hypothese auf, daß der "dominante" Arm (also bei Rechtshändern der rechte, bei Linkshändern der linke Arm) allgemein höhere Blutdruckwerte gegenüber der Gegenseite zeigt.
Deshalb führten wir obigen Test auch in der Gruppe der Linkshänder durch. Hier zeigten sich jedoch keine signifikanten Seitenunterschiede. Es ist jedoch denkbar, daß sich ein bestehender Seitenunterschied des systolischen Blutdrucks wegen der kleinen Gruppengröße (n=3) nicht als signifikant erwies. Wir gingen deshalb weiterhin von unserer Hypothese aus, daß der "dominante" Arm höhere Blutdruckwerte zeigt und berücksichtigten dies bei der Bildung der seitenvergleichenden Quotienten (3.1.2.).
Selbst für den Fall, daß unsere Hypothese widerlegt würde, würde sich der Fehler nur unwesentlich vergrößern, da sich ja bei annähernd seitengleichen Blutdruckwerten auch bei der Kehrwertbildung des Quotienten annähernd gleiche Werte ergeben.
Um obige Hypothese in Bezug auf unser Kollektiv zu kontrollieren, führten wir für die entsprechend gebildeten Quotienten zwischen der Gruppe der Rechtshänder und der Gruppe der

Linkshänder einen Mittelwertsvergleich durch. Da sich hier keine signifikanten Unterschiede zeigten, gab es für uns auch keinen Hinweis, unsere Hypothese als widerlegt zu betrachten. Um jedoch diese Hypothese allgemeingültiger verifizieren oder aber falsifizieren zu können, wären Untersuchungen innerhalb größere Kollektive notwendig.

4.3. Diskussion des Patientenkollektivs

4.3.1. Diskussion der Untersuchungsergebnisse

1. Anamnese:

a) Die Frage nach Beschwerden im Zusammenhang mit der Herzkatheteruntersuchung wird weiter unten abgehandelt.

b) Die Frage nach momentan bestehenden Beschwerden diente der Stadieneinteilung von eventuell vorhandenen Stenosen entsprechend der Stadieneinteilung der arteriellen Verschlußkrankheit nach Fontaine-Ratschow.
Da bei keinem der Kinder Beschwerden bestanden, konnte Stadium II (Claudicatio intermittens) und Stadium III (Ruheschmerz) ausgeschlossen werden (35).

c) Die Frage nach dem "dominanten" Arm war wichtig für die Bildung der seitenvergleichenden Quotienten.

d) Die Frage nach Frakturen, Verletzungen oder sonstigen Erkrankungen, die die Blutgefäße der Arme betreffen, diente dazu, Kinder von der Untersuchung auszuschließen, bei denen Einflüsse nur an einem Arm auftreten, die unsere seitenvergleichenden Quotienten verändern würden. Bei keinem der Kinder wurden jedoch solche derartige Einflüsse festgestellt.

2. Inspektion:

Die Inspektion diente der Feststellung von trophischen Störungen. Liegt z.B. eine Nekrose der Akren vor, so würde Stadium IV der AVK nach Fontaine-Ratschow (35) diagnosti-

ziert. Bei keinem der Kinder wurden jedoch trophische Störungen beobachtet.
Große Narbenzüge oder ausgeprägte Ödeme können möglicherweise die Ergebnisse des Oszillogramms verändern. Derartige Auffälligkeiten wurden jedoch nicht beobachtet.

3. Muskeltonus:
Da auch ein veränderter Muskeltonus die Ergebnisse des Oszillogramms beeinflussen kann (72), wurde dieser von uns geprüft. Bei der Gefäßdiagnose des einen Kindes, bei dem ein einseitig erhöhter Muskeltonus festgestellt worden war, stützten wir uns deshalb in erster Linie auf die Werte der Doppler-Druckmessung und der VVP.

4. Armlängenmessung:
Die Armlänge bestimmten wir mit einem handelsüblichen Haushaltsmaßband (siehe 2.2.2.). Diese Meßmethode ist unserer Meinung nach mit einer relativ großen Meßungenauigkeit behaftet. So erwies es sich z.B. bei adipösen Kindern als schwierig, die Meßpunkte (Akromion bzw. Processus stylii radii) präzise zu tasten. Eine Meßungenauigkeit von 1 cm ist deshalb ohne weiteres möglich. Darum bewerteten wir nur Seitendifferenzen, die größer als 1 cm waren.
Eine genauere Messung wäre z.B. durch ein Röntgenbild mit danebenliegendem strahlendichtem Maßstab möglich, wie es von BLOOM (9) und BASSETT (4) zur Beinlängenbestimmung angewendet wurde.

In unserer Untersuchung kamen wir zu dem Schluß, daß bei den Kindern unseres Patientenkollektivs ein retrograder Herzkatheter durch Arteriotomie am Arm nicht für eine Armverkürzung verantwortlich gemacht werden kann (siehe 3.2.1.).
Darin stimmen unsere Ergebnisse mit VLAD et al. (83) überein. VLAD et al. (83) konnten bei 3 bis 5 Jahre lang beobachteten Kindern keine Unregelmäßigkeiten im Längenwachs-

tum der Extremitäten feststellen, obwohl bei diesen Kindern die kleinen Arterien sogar ligiert worden waren. Auch ADAR et al. (1), die Seitendifferenzen größer als 5 mm bewerteten, konnten keine signifikanten Zusammenhänge feststellen. An den Beinen wurden gelegentlich Beinverkürzungen nach Stenosen oder Verschlüssen beschrieben, die auf retrograde Herzkatheterisierung zurückzuführen sind (4, 9). Für das Auftreten dieser Verkürzungen wurde die schlechte Versorgung der Leistengegend mit Kollateralen verantwortlich gemacht.
Dagegen wird immer wieder betont (5, 19, 63, 84), daß der Unterarm über ausgeprägte Kollateralen verfügt, die im Falle eines Verschlusses eine adäquate Blutversorgung des Unterarms und der Hand gewährleisten können. Deshalb ist selbst bei Verschluß der A. brachialis kaum eine Armverkürzung zu erwarten. Dennoch bestehende Armverkürzungen bereiten Interpretationsschwierigkeiten, da geringe Längendifferenzen der Extremitäten auch bei Gesunden auftreten können (4, 63).

Zusammenfassend stimmen wir mit ROWE (63) in der Feststellung überein, daß Extremitätenverkürzungen keine wesentliche Folgeerscheinung der Herzkatheterisierung sind.

5. Armumfangsdifferenzen:
Zur Messung der Armumfänge verwendeten wir ein handelsübliches Haushaltsmaßband. Hier entsteht eine relativ große Meßungenauigkeit dadurch, daß bei verschieden starkem Spannen des Maßbandes, aufgrund der Nachgiebigkeit des Haut-, Fett- und Muskelgewebes, unterschiedliche Resultate erzielt werden können.
Zudem führt ein veränderter Muskeltonus zu unterschiedlichen Armumfängen. Diese Einflüsse versuchten wir durch den Seitenvergleich weitgehend auszugleichen. Besonders am Unterarm spielt auch der Meßort eine wichtige Rolle, da der Unterarmumfang nach distal abnimmt und somit schon eine ge-

ringe Verschiebung des Meßortes Umfangsveränderungen nach sich zieht. Deshalb erschien uns nur eine Bewertung von Seitendifferenzen über 1 cm sinnvoll.
Der Fisher-Yates-Test zeigte (Oberarm: $p = 0{,}055$; Unterarm: $p = 0{,}016$), daß ein gewisser Zusammenhnag zwischen Umfangsdifferenzen und Stenose besteht.
Unserer Meinung nach spielt jedoch auch der Trainingszustand der Muskulatur eine große Rolle. Eine Unterarmumfangsdifferenz zuungunsten der katheterisierten Seite könnte z.B. dadurch entstanden sein, daß ein rechts katheterisierter Rechtshänder Violoncello spielt, wodurch die linke Unterarmmuskulatur verhältnismäßig mehr trainiert wird, und somit auch der Unterarmumfang zunimmt.
Da wir den Trainingszustand der Muskulatur in dieser Untersuchung nicht erfaßt haben, können wir nur schlecht zwischen dem Einfluß von Trainingszustand und dem Einfluß einer Stenose auf den Armumfang unterscheiden.
Zusammenfassend können wir sagen, daß ein Einfluß einer Stenose auf den Armumfang nicht auszuschließen ist.
Wir halten ihn jedoch für eine unwesentliche Folgeerscheinung nach retrogradem Herzkatheter.

6. Pulstastung:
Die Ergebnisse der Pulstastung sind unter 3.2.1. im einzelnen aufgeführt. Eine gewisse Einschränkung der Aussagefähigkeit ist dadurch gegeben, daß uns keine ausreichenden Angaben über den Pulsstatus vor der Herzkatheteruntersuchung zur Verfügung standen.
Da auch in unserem Kontrollkollektiv bei 4 gefäßgesunden Kindern (10,8%) einseitige Pulsabschwächungen auftraten, kann eine einseitige Pulsabschwächung nicht in jedem Fall für eine Stenose sprechen. Nur beim Radialispuls gab es in der Kontrollgruppe keine Abschwächung (vergleiche 3.1.1.).
In der Literatur wird häufig ein abgeschwächter oder fehlender Puls (meist der Radialispuls) als Kriterium für das Vorliegen einer Stenose oder Okklusion verwendet (19, 38, 49, 83, 84).

Daß bei abgeschwächtem oder fehlendem Radialispuls tatsächlich eine Stenose oder Okklusion vorliegt, bestätigte unsere Untersuchung (0% falsch positiv).
Jedoch konnten wir zeigen, daß bei 64,3% der Fälle mit einer Stenose oder Okklusion keine Seitendifferenz der Radialispulse tastbar war. Dies besagt, daß der Radialispuls allein nicht ausreicht, um alle Stenosen zu erfassen.
Soll die Pulstastung dennoch als diagnostisches Kriterium angewendet werden (was sich ja wegen der guten klinischen Anwendbarkeit anbietet), so sollte wenigstens der Puls nicht nur über der A. radialis, sondern auch über der A. ulnaris und A. brachialis getastet werden. Auf diese Weise werden mit großer Wahrscheinlichkeit (bei Abschwächung über mindestens zwei Tastorten) nur Kinder mit Stenosen erfaßt (0% falsch positiv). Der Anteil der Kinder mit Stenosen, der hierbei nicht erfaßt wird, sinkt dabei jedoch auf 35,7% bei Pulsabschwächung über mindestens zwei Tastorten (Radialispuls allein: 64,3%, vergleiche Tabelle 11).

Unsere Ergebnisse entsprechen den Aussagen von JERESATY und LISS (40) und ROWE (63), daß nämlich eine Stenose oder vaskuläre Insuffizienz trotz vorhandener Pulse vorliegen kann. Um also Stenosen sicher erfassen zu können, sind weitere angiologische diagnostische Maßnahmen z.B. die Blutdruckmessung nötig (2, 9, 40).
Bei Angaben über Stenosehäufigkeiten ist demnach unbedingt zu berücksichtigen, nach welchen Kriterien diese Diagnose erstellt wurde.

7. Messung der groben Kraft:
Wir konnten statistisch nachweisen, daß kein Zusammenhang zwischen dem Vorliegen einer Stenose und einer einseitigen Abschwächung der groben Kraft besteht.
Wir können daraus folgern, daß die Bestimmung der groben Kraft nicht geeignet ist, Hinweise auf das Vorliegen von

Stenosen entsprechend Stadium I der AVK nach Fontaine-Ratschow zu liefern.
Erst bei Stadium III (Ruheschmerz) dürfte die Durchblutung soweit eingeschränkt sein, daß eine Reduzierung der nur kurzfristig aufzubringenden Muskelkraft mit dem Vigorimeter nachgewiesen werden kann. Dies entzieht sich jedoch unserer Beurteilung, da bei keinem der Kinder Stadium III der AVK festzustellen war.

8. Korotkoff-Geräusche:
Es konnte statistisch nachgewiesen werden, daß ein Zusammenhang zwischen dem Vorliegen einer Stenose oder Okklusion und im Vergleich zur Gegenseite abgeschwächten Korotkoff-Geräuschen besteht.
Wir folgern daraus, daß abgeschwächte oder fehlende Korotkoff-Geräusche am katheterisierten Arm nach Ausschluß möglicher anderer Ursachen als Hinweis auf das Vorliegen einer katheterinduzierten Stenose oder Okklusion gedeutet werden können (15,8% falsch positiv, 35,7% falsch negativ). Zu einem ähnlichen Ergebnis kamen JERESATY und LISS (40), die feststellten, daß bei Patienten, bei denen auskultatorisch kein Blutdruck feststellbar war, entweder eine komplette Okklusion der Brachialarterie oder eine deutliche Stenose vorlag.

9. Blutdruckmessung mit Hilfe der Ultraschall-Doppler-Sonde:
Auch andere Autoren verwenden Blutdruckmessungen als diagnostisches Kriterium für das Vorliegen einer "Thrombose" nach retrogradem Herzkatheter (1, 2, 40). Im Abschnitt 4.3.3. wird im einzelnen darauf eingegangen.

10. Oszillographie:
Oszillographische Untersuchungen bei Kindern gibt es in der Literatur zwar nach retrograden Herzkatheteruntersuchungen über die Femoralarterien, jedoch konnten wir keine Arbeiten finden, bei denen oszillographische Untersuchungen nach

retrogradem Herzkatheter über die Brachialarterie durchgeführt wurden (74).

11. Venenverschlußplethysmographie:
Auch venenverschlußplethysmographische Nachuntersuchungen bei Kindern gibt es unseren Nachforschungen zufolge nur nach retrogradem Herzkatheter vom Bein aus, nicht jedoch nach retrogradem Herzkatheter vom Arm aus (74).

Diskussion der weiteren Ergebnisse:

Bei der Anwendung des Diagnoseschlüssels auf unser Patientenkollektiv zugunsten des katheterisierten Armes wurden 5 Kinder (9,6%) mit Seitenunterschieden erfaßt.
Das könnte damit erklärt werden, daß

- entweder ein stenosierender oder obliterierender Gefäßprozeß am nicht katheterisierten Arm vorliegt, z.B. durch einen während der Herzkatheteruntersuchung abgestreiften und verschleppten Thrombus,
- oder dies durch die natürliche Streubreite der gemessenen Werte bedingt ist (Erwartungswert falsch positiver Werte: 5%) (vergleiche auch 4.2.1.).

Zur genauen Abklärung wäre eine weitere angiologische Diagnostik z.B. ein Angiogramm nötig.

4.3.2. Diskussion der Zusammenhänge von Stenosehäufigkeit und verschiedenen Faktoren in Verbindung mit der Herzkatheteruntersuchung

Beziehung zwischen den Faktoren 1 bis 4 untereinander:

Wir stellten fest (vergleiche 3.2.2.), daß eine signifikante Korrelation zwischen dem Alter der Kinder zum Zeitpunkt der Herzkatheteruntersuchung und der verwendeten Kathetergröße bestand.
Dieser Zusammenhang erklärt sich damit, daß die Katheter-

größe in Abhängigkeit vom Gefäßlumen gewählt wurde. Da bei älteren Kindern der arterielle Gefäßquerschnitt im allgemeinen größer ist, wurden bei älteren Kindern auch Katheter mit größerem Durchmesser verwendet. Eine sinnvolle Untersuchung der Abhängigkeit der Stenosehäufigkeit von der Kathetergröße muß das Verhältnis vom Gefäßquerschnitt zu Durchmesser des verwendeten Katheters berücksichtigen. Angaben über den Gefäßdurchmesser lagen uns nicht vor, jedoch wurde bei der Herzkatheteruntersuchung darauf geachtet, daß die Kathetergröße dem Gefäßlumen angepaßt wurde (vergleiche 1.2.).

In der Untergruppe der Kinder ohne Stenose fand sich eine signifikante Korrelation zwischen dem Alter der Kinder zum Zeitpunkt der Herzkatheteruntersuchung und der Herzkatheterdauer.
Eine mögliche Erklärung für die Tatsache, daß bei älteren Kindern die Herzkatheteruntersuchung länger dauerte, liegt darin, daß bei älteren Kindern zusätzliche Untersuchungen vorgenommen wurden, z.T. auch im Zusammenhang mit wissenschaftlichen Programmen.
Bei den Kindern, bei denen eine Stenose diagnostiziert wurde, konnten wir keinen signifikanten Zusammenhang zwischen Alter und Herzkatheterdauer nachweisen.

Beziehung zwischen einzelnen Faktoren und der Stenosehäufigkeit:

ad 1. und 4.) (vergleiche 3.2.2.) Es erweist sich allgemein als schwierig, die Stenosehäufigkeit auf ursächliche Faktoren zurückzuführen, da sich verschiedene Faktoren gegensinnig überlagern können. Überprüft man z.B. die Stenosehäufigkeit in Abhängigkeit von der Erfahrung des Untersuchers, so findet man bei den geübteren Untersuchern keine signifikant niedrigere Stenosehäufigkeit, obwohl der prozentuale Anteil von Stenosen geringer ist (22,9% : 35,3%).

Auch fanden wir keine signifikante Abhängigkeit der Stenosehäufigkeit vom Alter zum Zeitpunkt der Herzkatheteruntersuchung, obwohl das Durchschnittsalter der Kinder mit Stenose geringer war (3,0 Jahre : 3,8 Jahre).
Betrachtete man jedoch die Altersverteilung bei den geübteren und weniger geübten Untersuchern, so zeigt sich, daß die geübteren Untersucher prozentual mehr Säuglinge katheterisierten als die weniger geübten Untersucher. Es wäre demnach denkbar, daß bei kleinen Kindern die Stenosehäufigkeit deshalb nicht signifikant erhöht war, weil sie im Verhältnis öfter von geübteren Untersuchern katheterisiert wurden.
Deshalb versuchten wir sowohl die Erfahrung des Untersuchers als auch das Alter der Kinder (<1 Jahr; ≥1 Jahr) in bezug auf die Stenosehäufigkeit zu berücksichtigen. Dabei zeigte sich, daß die Erfahrung des Untersuchers bei Säuglingen eine Auswirkung auf die Stenosehäufigkeit hat, jedoch nicht bei älteren Kindern.
Es gilt auch hier die Aussage, daß präzisere und daher allgemeingültigere Aussagen nur durch Untersuchung und Auswertung eines größeren Kollektivs möglich ist, da sich durch die Aufteilung nach verschiedenen Merkmalen relativ kleine Gruppengrößen ergeben.

ad 2.) Die Dauer der Herzkatheteruntersuchung erwies sich bei den Kindern mit Stenose gegenüber den Kindern ohne Stenose als wesentlich, jedoch nicht signifikant ($\alpha = 0{,}077$) verlängert. Ob eine längere Untersuchungsdauer ursächlich für eine höhere Stenosehäufigkeit verantwortlich ist, läßt sich hier nicht sagen. Möglicherweise spielen andere Faktoren eine Rolle.
Übereinstimmend mit unseren Ergebnissen fanden auch ROSS (61) und JERESATY und LISS (40) einen Zusammenhang zwischen Herzkatheterdauer und Stenosehäufigkeit. Auch MARCINSKY et al. (50) betrachten eine zu lange Untersuchungsdauer als komplikationsfördernden Faktor.

ad 3.) Ein Einfluß des Katheterdurchmessers auf die Stenosehäufigkeit konnte nicht festgestellt werden. Vermutlich spielt eher das Verhältnis von Katheterdurchmesser zu Gefäßlumen eine Rolle (s.o.).

ad 5.) Eine Abhängigkeit der Stenosehäufigkeit vom Geschlecht der Kinder konnte nicht nachgewiesen werden.

ad 6.) Der zeitliche Abstand zwischen Herzkatheteruntersuchung und angiologischer Untersuchung war bei den Kindern ohne Stenose im Durchschnitt um 0.7 Jahre größer als bei den Kindern mit Stenose. Der Unterschied erwies sich jedoch als nicht signifikant.
Dies besagt jedoch nicht, daß sich die angiologischen Werte im Einzelfall doch verbessern könnten. Nur im Kollektiv betrachtet, erweist sich eine Verbesserung als nicht signifikant.

ad 7.) Um Komplikationen während bzw. unmittelbar nach einer Herzkatheteruntersuchung systematisch und vollständig erfassen zu können, empfiehlt es sich, standardisierte Angaben zu machen wie z.B. in der "Cooperative Study on Cardiac Catheterization" (13) vorgeschlagen (s.u.).
Es war auch nicht das primäre Ziel dieser Arbeit, Frühkomplikationen festzustellen, denn dazu ist eine prospektive Studie besser geeignet.

In der Literatur sind weitere Faktoren beschrieben, die die Stenosehäufigkeit beeinflussen können, bzw. sind Empfehlungen gegeben, wie die Stenosehäufigkeit vermindert werden soll:
ROWE (63) stellte die größte Häufigkeitsrate arterieller Thrombosen bei kleinen Kindern fest. Er bringt diese Beobachtung in Zusammenhang mit der Gefäßgröße und dem Herzzeitvolumen.
Auf die Bedeutung der Technik beim Freilegen der Arterie

und beim Verschließen derselben wurde mehrfach hingewiesen (16, 49, 63).
Auch wurde auf die Notwendigkeit, daß freies Bluten aus dem proximalen und distalen Teil der Arterie vor dem Verschließen ermöglicht wird, Nachdruck gelegt (16, 49, 84). MANSFIELD et al. (49) und BUCKBERG und MOSS (16) weisen noch auf die Wichtigkeit guter Beleuchtung, ausreichender Sichtverhältnisse und die Anwesenheit von geschultem assistierenden Personal hin.

4.3.3. Zusammenfassender Vergleich der ermittelten Stenosehäufigkeit mit Angaben aus der Literatur

Ursachen für die unterschiedlichen Häufigkeitsangaben arterieller Früh- oder Spätkomplikationen:

Bei den in der Literatur veröffentlichten Untersuchungen über arterielle Komplikationen nach retrogradem Herzkatheter am Arm wurden zur Erfassung arterieller Stenosen oder Okklusionen z.T. unterschiedliche angiologische Parameter eingesetzt (siehe Tab. 13). Des öfteren wurde nur der Pulsstatus (häufig nur der Radialispuls) als Kriterium für eine Stenose oder Okklusion der Arterie verwendet. Andere Untersucher kombinierten den Pulsstatus mit einer Blutdruckmessung, teilweise wurde auch noch die klinische Symptomatik berücksichtigt (Hauttemperatur, Hautfarbe, Parästhesie oder Gefühlslosigkeit, Claudicatio oder Ödeme). Eine Übersicht der verwendeten Kriterien und "Thrombosehäufigkeit" der verschiedenen Untersucher zeigt Tab. 13.

Bei unserer Untersuchung konnten wir nachweisen, daß bei seitengleichen Radialispulsen 64,3% der Patienten mit Stenosen bzw. Okklusionen nicht erfaßt wurden. Wurde der Radialispuls als einziges Diagnosekriterium verwendet, sind diese Ergebnisse demnach nicht ohne weiteres mit Ar-

beiten zu vergleichen, die auch andere Kriterien berücksichtigt haben. Ein Vergleich solcher Untersuchungen miteinander ist deshalb nur unter Berücksichtigung der Diagnosekriterien sinnvoll.
Prinzipiell sind Untersuchungen, die sich nur auf klinische oder apparativ erfaßte Parameter stützen, immer mit einer gewissen Fehlerquote behaftet. Zum sicheren Nachweis einer vorliegenden Stenose oder Okklusion ist eine invasive Diagnostik z.B. ein Arteriogramm nötig (63). Dies eignet sich jedoch nicht als Screening-Methode.
SIMOVITCH et al. (76) stellten zudem fest, daß die Häufigkeit zurückbleibender arterieller Thrombosen zum Teil auch von der Genauigkeit und Sorgfalt abhängt, mit der die Untersuchungen nach der Herzkatheteruntersuchung durchgeführt und veröffentlicht werden.

Ein Versuch, die Erfassung arterieller Komplikationen nach retrogradem Herzkatheter zu standardisieren, wird in der "Cooperative Study on Cardiac Catheterization" (13) unternommen. Dort werden aus klinischer Sicht mögliche Kriterien zur Einteilung arterieller Komplikationen in ernste und leichte Komplikationen vorgeschlagen:
Ernste Komplikationen:
a) Verlust der Extremität
b) Ischämische Symptome, die länger als eine Woche bestehen
c) Notwendigkeit gefäßchirurgischer Maßnahmen
Leichte Komplikationen:
a) abgeschwächte oder fehlende Pulse nach Verschluß der Arteriotomie und Wiedereröffnung durch den Kardiologen
b) abgeschwächte oder fehlende Pulse nach der Katheteruntersuchung, aber bei warmer Extremität und guter Kapillardurchblutung.

Frühkomplikationen:

Die in Tabelle 13 aufgeführten "Thrombosehäufigkeiten"

Autoren	Anzahl der Arteriotomien	Ort der Arteriotomie	Kinder oder Erwachsene (Ki o. Ew)	Diagnosekriterien	prozentuale Häufigkeit arterieller "Thrombosen"
VOCI et al. 1960	80	Arm	Ki + Ew	Radialispuls	33 %
VENGSARKAR et al. 1962	110	Arm	Ki	Pulse, Hauttemperatur, Hautfarbe, Schmerz, Parästhesie Gefühllosigkeit, Ödeme, Hämatome	34,5 %
VLAD et al. 1964	542	Arm und Bein	Ki	periphere Pulse	ca. 33 %
ROSS 1968	4700	Arm	Ki + Ew	Pulse und subjektive oder objektive Zeichen verschlechterter arterieller Durchblutung	0,3 %
HOHN et al. 1970	?	Arm und Bein	Ki	Pulse	17 %
CAMPION et al. 1971	342	Arm	Ew	periphere Pulse	14,9 %
STANGER et al. 1974	441	Arm und Bein	Ki	leichte und ernste Komplikationen (nach "Cooperative Study ..." siehe Text)	zusammen 7,5 %
HAMMERER 1979	88	Arm und Bein	Ki	Pulse	32,9 %
SCHRAMM et al. 1980	52	Arm	Ew ?	Blutdruck (> 10 mm Hg) und Turbulenzphänomene	23 %
MOCELLIN et al. 1982	106	Arm	Ki	leichte und ernste Komplikationen (nach "Cooperative Study ..." siehe Text)	zusammen 11,3 %
ADAR et al. 1983	125	Arm	Ki	Pulse und ischämische Zeichen, fehlende Doppler-Signale	15,2 %

Tabelle 13: Frühkomplikationen: Häufigkeiten arterieller "Thrombosen" bei verschiedenen Autoren sofort nach retrogradem Herzkatheter oder bis 24 Stunden danach

verschiedener Untersucher beziehen sich auf arterielle Komplikationen, die sofort nach der Herzkatheteruntersuchung oder innerhalb 24 Stunden danach auftraten.
Die Ergebnisse unserer angiologischen Untersuchungen bezogen sich jedoch auf einen Zeitpunkt durchschnittlich 7,6 Jahre nach der Herzkatheteruntersuchung. Systematische (standardisierte) Angaben über Frühkomplikationen lagen uns nicht vor. Die wenigen Angaben, die uns zur Verfügung standen, sind unter 3.2.2. aufgeführt.
Hier wäre anzumerken, daß bei keinem der Kinder gefäßchirurgische Revisionen erforderlich geworden waren.

MOCELLIN et al. (52) berichteten von 21 Fällen (3,8%), bei denen entweder eine operative Thrombektomie (14 Kinder) oder eine medikamentöse Thrombolyse (7 Kinder) notwendig geworden war (bezogen auf 550 Kinder, die entweder vom Arm oder Bein aus, perkutan oder durch Arteriotomie retrograd katheterisiert wurden). Die Ursache dieser verschiedenen Häufigkeitsangaben mag darin liegen, daß die Indikation zur gefäßchirurgischen Revision von MOCELLIN et al. großzügiger gestellt wurde.

Da sich die Durchblutungssituation der Extremitäten mit zunehmendem Abstand von der Herzkatheteruntersuchung verändern kann, sind die in Tabelle 13 aufgeführten Stenosehäufigkeiten nicht ohne weiteres mit unseren Ergebnissen vergleichbar:

ROSENBERG et al. (60) zeigten an zwei Fällen, daß Stenosierungen erst nach Monaten nach einem retrograden Herzkatheter auftreten können. Sie fanden an der Stenosestelle proximal der Arteriotomie eine Intimafibrose, die sie auf eine Intimaverletzung durch den Herzkatheter zurückführten. Andererseits kann durch die gute Versorgung des Unterarms und der Hand mit Kollateralen selbst bei einem völligen Verschluß der Arterie eine adäquate Durchblutung mit Wieder-

erlangung der Pulse erreicht werden (5, 63, 84). Ebenso können sich arterielle Spasmen, die eine Thrombose vortäuschen können, im Laufe der Zeit wieder lösen (2).

Spätkomplikationen:

In der Literatur fanden wir nur wenige Untersuchungen, die versuchten, arterielle Spätkomplikationen nach retrogradem Herzkatheter systematisch zu erfassen. Die meisten Untersuchungen bezogen sich auch nicht speziell auf Kinder (vergleiche Tabelle 14).

So untersuchten AGUILAR et al. (2) bei 137 von 388 Kindern und Erwachsenen, bei denen ein retrograder Herzkatheter durchgeführt wurde, nach 3 Monaten den Pulsstatus (Grad 0-4) und den Blutdruck der katheterisierten Extremität (ein Grenzwert wurde nicht angegeben). Bei etwa 2/3 der Fälle war die A. brachialis als Zugang verwendet worden, bei den restlichen Fällen die A. femoralis.
Leichte Pulsabschwächungen fanden sie bei 3 der 137 Patienten (=2,2%) und folgerten aus ihren Ergebnissen, daß arterielle Thrombosen oder Embolien nicht vorlagen.

JERESATY und LISS (40), die ebenfalls bei Kindern und Erwachsenen eine Nachuntersuchung des Pulsstatus (Grad 0-4) und des Blutdrucks (pathologisch bei Seitendifferenzen größer 10 mm Hg) durchführten, fanden signifikant erniedrigte Pulse bei 43% der 203 nachuntersuchten Patienten und einen erniedrigten Blutdruckwert bei 41% der Patienten. Okklusionen der A. brachialis konstatierten sie bei 57 der 203 Patienten (=28%).

ADAR et al. (1) führten bei 66 Kindern, bei denen eine Arteriotomie der A. brachialis durchgeführt worden war, nach durchschnittlich 4,4 Jahren eine Nachuntersuchung durch. Dabei stellten sie keine funktionellen Einschränkungen fest. Alle Pulse waren palpabel, wenn auch einige Pulse abge-

Autoren	Anzahl der Arteriotomien	Ort der Arteriotomie	Kinder oder Erwachsene (Ki o. Ew)	Zeitraum Hk-Us	Diagnosekriterien	prozentuale Häufigkeit arterieller "Thrombosen"
AGUILAR et al. 1966	137	2/3 Arm 1/3 Bein	Ki + Ew	3 Mo	Pulsstatus (Grad 0 - 4) Blutdruck der katheterisierten Extremität (Grenzwerte nicht angegeben)	2,2 %
JERESATY et al. 1968	203	Arm	Ki + Ew	ca. 16 Mo	Pulsstatus (Grad 0 - 4) Blutdruck ($\Delta p \geq 10$ mmHg)	28 %
ADAR et al. 1983	66	Arm	Ki	4,4 J	Doppler-Blutdruckmessung ($\Delta p > 10$ mm Hg)	33,3 %
eigene Untersuchungen	52	Arm	Ki	7,6 J	Doppler-Blutdruckmessung Oszillographie, Venenverschlußplethysmographie (Grenzwerte siehe 2.4.)	26,9 %

Tabelle 14: Spätkomplikationen nach retrogradem Herzkatheter; Häufigkeiten arterieller "Thrombosen" bei verschiedenen Autoren

Abkürzungen: Zeitraum Hk-Us = mittlerer zeitlicher Abstand zwischen Herzkatheteruntersuchung und angiologischer Untersuchung;
Mo = Monate; J = Jahre; siehe auch Tabelle 1

schwächt waren. Doppler-Druckdifferenzen von mehr als 10 mm Hg stellten sie bei 22 der 66 Kinder fest (33,3%).

VLAD et al. (83) berichteten von einem 12-jährigen Kind, bei dem noch 8 Monate nach der Untersuchung die Pulse am Arm fehlten (0,2%). Bei der Nachuntersuchung zeigte sich eine eingeschränkte Daumenfunktion, aber kein nekrotisches Gewebe konnte festgestellt werden. Eine systematische angiologische Nachuntersuchung einer größeren Zahl retrograd katheterisierter Kinder scheint hier jedoch nicht durchgeführt worden zu sein.

Um jedoch die Stenosehäufigkeiten verschiedener Untersucher miteinander vergleichen zu können, ist es wichtig, die Kriterien, die zur Diagnose führten, mit zu berücksichtigen (s.o.).
Deshalb werteten wir unsere Daten interessehalber, so weit das möglich war, nach den Kriterien anderer Untersucher aus:

Bewertet man unser Kollektiv nach ähnlichen Kriterien wie JERESATY und LISS (40) (vergleiche 3.2.1.; Pulsabschwächungen über der A. radialis, A. ulnaris oder A. brachialis gegenüber der Gegenseite; Blutdruckdifferenzen von 10 mm Hg und mehr), so ergeben sich bei 30,8% der Patienten Pulsabschwächungen, bei 25,0% Blutdruckdifferenzen, und bei 17,3% der Kinder würde eine Okklusion festgestellt (JERESATY und LISS: 28%). Der Unterschied könnte damit erklärt werden, daß sich die in den letzten 15 Jahren gesammelte Erfahrung in positiver Weise auf die Stenosehäufigkeit auswirkt.

Wendet man die Kriterien von ADAR et al. (1) an (vergleiche 3.2.1.; Doppler-Druckdifferenz größer als 10 mm Hg), so ergäbe sich bei uns eine Komplikationsrate von 23,1% (12 von 52 Kindern) gegenüber 33,3% bei ADAR et al. Die höhere Rate

bei ADAR et al. könnte damit erklärt werden, daß bei deren Untersuchung bei einem Teil der Kinder die Arterie ligiert worden war.

Da AGUILAR et al. (2) keine Grenzwerte für die Blutdruckmessung angaben, ist ein direkter Vergleich nicht möglich.

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß die bei dieser Untersuchung festgestellten Stenosehäufigkeiten in der Größenordnung durchaus mit den Ergebnissen anderer Untersucher vergleichbar sind.
Bemerkenswert sind auch die guten Untersuchungsergebnisse eines Kindes, bei dem keine Stenose festgestellt werden konnte, obwohl es zweimal im Abstand von 6 Jahren von der gleichen Arterie aus durch Arteriotomie retrograd katheterisiert worden war. Dies zeigt, daß mehrfache retrograde Katheterisierung durch Arteriotomie der gleichen Arterie nicht notwendigerweise zu einer Stenose führen muß.

Schwerwiegende Komplikationen:

Schwerwiegende arterielle Komplikationen nach retrogradem Herzkatheter am Arm sind selten.
ROSS (61) berichtete in der "Cooperative Study of Cardiac Catheterization" von einem 3 Monate alten Kind mit nekrotischem Zeigefinger nach retrogradem Herzkatheter. Eine intensive Therapie wurde eingeleitet und der Finger heilte langsam wieder ab.
CAMPION et al. (19) berichteten von einem erwachsenen Patienten, bei dem nach einer komplizierten Arteriotomie trotz intensiver Therapie eine Amputation des Unterarms vorgenommen werden mußte als Folge des retrograden Herzkatheters.
Erfreulicherweise traten solche schwerwiegenden Komplikationen bei dieser Untersuchungsreihe hier nicht auf.

4.4. Diskussion der zusätzlichen Informationen aus den angiologischen Untersuchungsergebnissen

Korrelation der angiologischen Parameter:

Bei der Korrelation der seitenvergleichenden Quotienten ergaben sich signifikante Korrelationskoeffizienten zwischen Q_p und $Q_{G/P}$ bzw. Q_p und Q_{PF}.
Diese signifikanten Korrelationskoeffizienten besagen, daß die gleichsinnige Quotientenverschiebung von Q_p und $Q_{G/P}$ bzw. Q_p und Q_{PF} in Richtung pathologisch bzw. Normbereich statistisch betrachtet nicht "zufällig", d.h. also nicht durch natürliche Streubreite entstanden sind, sondern daß vielmehr mit hoher Wahrscheinlichkeit ein Zusammenhang zwischen ihnen besteht.
Dies besagt jedoch nicht, daß im Einzelfall die einzelnen Quotienten immer gleichzeitig pathologisch sein müssen, da

1. keine hundertprozentige Korrelation besteht und deshalb eine gewisse Streubreite vorhanden ist und
2. die Grenzen zum Pathologischen für die einzelnen Quotienten getrennt quantitativ verschieden gelegt wurden.

In der Literatur (siehe 4.1.3.) sind ebenfalls signifikante Korrelationen beschrieben worden, die sich allerdings auf die Werte p, G und PF beziehen, während wir die seitenvergleichenden Quotienten zueinander in Beziehung setzten. Unsere Ergebnisse stehen nicht in Widerspruch zu denen der Literatur.
Da die in der Literatur beschriebenen Korrelationen für jede einzelne Extremität gelten, ist mit einer gewissen Berechtigung zu erwarten, daß auch bei seitenvergleichender Betrachtungsweise die Werte miteinander korrelieren. Dies wurde durch unsere Untersuchung für Q_p und $Q_{G/P}$ bzw. Q_p und Q_{PF} bestätigt.

Trendanalyse:

Aus den Ergebnissen der Trendanalyse folgerten wir,

1. daß in den Altersgruppen II und III kein "Trend zum Pathologischen" vorliegt, und
2. daß in der Altersgruppe I minimale Seitenunterschiede des systolischen Drucks der Armarterien vorliegen, die jedoch so klein sind, daß sie im Einzelfall nicht durch unseren Diagnoseschlüssel erfaßt werden können.

4.5. Schlußfolgerungen

Aus den Ergebnissen dieser Arbeit ziehen wir folgende Schlußfolgerungen:

Um die Stenosehäufigkeit zu verringern, empfehlen wir, daß bei Säuglingen retrograde Herzkatheteruntersuchungen durch Arteriotomie von erfahrenen Untersuchern durchgeführt werden. Bei älteren Kindern spielt die Erfahrung des Untersuchers bezüglich der Stenosehäufigkeit keine Rolle.

Außerdem unterstützen wir die Empfehlung, die Untersuchungsdauer bei retrograden Herzkatheteruntersuchungen durch Arteriotomie möglichst gering zu halten.

Um eine Stenose nach einer Arteriotomie diagnostizieren zu können, reicht die Palpation der Radialispulse allein nicht aus. Wir empfehlen, neben der Palpation der Radialis-, Ulnaris- und Brachialispulse zusätzlich den systolischen Blutdruckwert mit Hilfe der Doppler-Sonde zu ermitteln. Gegenüber der Gegenseite abgeschwächte Korotkoff-Geräusche können zudem als Hinweis auf das Vorliegen einer Stenose gedeutet werden.

Wir können abschließend feststellen, daß dennoch auftretende Stenosen bei Kindern nach Arteriotomie am Arm keine gravierenden Folgen nach sich ziehen. Bei keinem der Kinder mit Stenose traten subjektive oder klinische Beschwerden auf.

5. ZUSAMMENFASSUNG

Im Zeitraum von Januar 1971 bis Mai 1981 wurden in der kardiologischen Abteilung der Universitäts-Kinderklinik Tübingen 586 Kinder retrograd herzkatheterisiert. Von diesen Kindern wurden 52 Kinder, die einen, und 2 Kinder, die je zwei retrograde Herzkatheter durch Arteriotomie am Arm erhalten hatten, durchschnittlich 7,6 Jahre nach der Herzkatheteruntersuchung von uns angiologisch nachuntersucht. Zusätzlich wurden 37 gefäßgesunde Kinder untersucht, um aus deren Untersuchungsergebnissen Normalwerte für den Seitenvergleich der angiologischen Parameter ermitteln zu können. Neben Anamneseerhebung und Prüfung des Muskeltonus wurden Armlänge, Armumfänge, Pulse, grobe Kraft, Hörbarkeit der Korotkoff-Geräusche und (mit Hilfe der Doppler-Sonde) der systolische Blutdruck erfaßt. Zusätzlich wurden ein Oszillogramm und ein Venenverschlußplethysmogramm aufgezeichnet.

Innerhalb des Kontrollkollektivs stellten wir teilweise signifikante Rechts-Links-Seitenunterschiede der Dopplerdruckwerte fest. Auch übte das Alter der Kinder einen signifikanten Einfluß auf die seitenvergleichenden Druckquotienten aus. Um diese Einflüsse zu berücksichtigen, bildeten wir seitenvergleichende Quotienten (bei Linkshändern reziprok gegenüber Rechtshändern) nach Altersgruppen getrennt.

Mit Hilfe eines von uns erstellten Diagnoseschlüssels, der im wesentlichen auf Abweichungen von seitenvergleichenden Normalwerten bezüglich des systolischen Blutdrucks, des Oszillogramms und der Venenverschlußplethysmographie beruht, haben wir bei 14 der 52 Kinder unseres Patientenkollektivs (26,9%) eine Stenose bzw. Okklusion diagnostiziert, bei allen Kindern jedoch ohne klinische Symptomatik

(entsprechend der AVK Stadium I nach Fontaine-Ratschow). Wir stellten einen signifikanten Zusammenhang zwischen Stenosehäufigkeit und Pulsabschwächungen über den Arterien (A. radialis, A. ulnaris, A. brachialis) des katheterisierten Armes fest. Ebenso wurde ein signifikanter Zusammenhang zwischen Stenosehäufigkeit und Unterarmumfangsdifferenzen sowie abgeschwächten Korotkoff-Geräuschen festgestellt. Keinen signifikanten Zusammenhang gab es dagegen zwischen Stenosehäufigkeit und Armlängendifferenzen, Oberarmumfangsdifferenzen sowie einseitiger Abschwächung der groben Kraft.
Außerdem versuchten wir festzustellen, welche Faktoren, die im Zusammenhang mit der Herzkatheteruntersuchung stehen, einen Einfluß auf die Stenosehäufigkeit ausübten.
Bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von kleiner als 5% konnten keine signifikanten Zusammenhänge nachgewiesen werden. Legt man jedoch eine Irrtumswahrscheinlichkeit von kleiner als 10% zugrunde, zeigt sich, daß bei den Kindern mit Stenose die Herzkatheteruntersuchung signifikant länger gedauert hatte, und daß bei Säuglingen die Stenosehäufigkeit bei erfahrenen Untersuchern signifikant niedriger war. Keinen Einfluß auf die Stenosehäufigkeit übte die verwendete Kathetergröße und das Geschlecht aus. Ebensowenig konnte ein Zusammenhang zwischen Stenosehäufigkeit und zeitlichem Abstand nach der Herzkatheteruntersuchung festgestellt werden. Auch übte bei älteren Kindern die Erfahrung des Untersuchers keinen Einfluß auf die Stenosehäufigkeit aus.

Anschließend verglichen wir unsere Ergebnisse mit denen der Literatur und stellten fest, daß die Ursache für die teilweise stark differierenden Häufigkeitsangaben arterieller Thrombosen zum Teil darin besteht, daß die verschiedenen Autoren unterschiedliche Kriterien für das Vorliegen einer Stenose oder Okklusion anwenden. Wir zeigten, daß die Palpation des Radialispulses allein nicht ausreicht, eine Ste-

nose zu diagnostizieren. Bei der Auswertung unserer Daten nach den Kriterien zweier anderer vergleichbarer Untersuchungen stellten wir bei unserem Patientenkollektiv eine geringere Stenosehäufigkeit fest. Eine exakte Ursache dafür war nicht festzustellen.
Als Nebenergebnis konnten wir feststellen, daß die seitenvergleichenden Quotienten der Doppler-Druckmessung mit den seitenvergleichenden Quotienten des Oszillogramms und auch mit denen des Venenverschlußplethysmogramms streng korrelierten.
Daß mehrmalige retrograde Herzkatheterisierung durch Arteriotomie nicht notwendigerweise zu einer Stenose führen muß, zeigten die guten Ergebnisse eines Kindes, das zweimal von der gleichen Arterie aus katheterisiert worden war.

Aufgrund der Ergebnisse dieser Arbeit empfehlen wir retrograde Herzkatheteruntersuchungen bei Säuglingen durch Arteriotomie von erfahrenen Untersuchern vornehmen zu lassen. Wir empfehlen auch, die Untersuchungsdauer möglichst gering zu halten.
Zur Diagnostik einer Stenose nach einer Arteriotomie reicht die Pulspalpation allein nicht aus. Wir empfehlen zusätzlich die Blutdruckmessung mit Hilfe der Ultraschall-Doppler-Technik. Abgeschwächte Korotkoff-Geräusche können als Hinweis auf das Vorliegen einer Stenose gedeutet werden.
Wir können abschließend feststellen, daß Stenosen am Arm nach Arteriotomie bei Kindern keine subjektiven oder klinischen Beschwerden nach sich ziehen.

6. LITERATURVERZEICHNIS

1. ADAR R, RUBINSTEIN N, BLIEDEN L:
Immediate complications and late sequelae of arterial catheterization in children with congenital heart disease
Ped. Cardiol. 4, 25-28, 1983

2. AGUILAR S, KAULBACH MG, HUGENHOLTZ PG:
Retrograde arterial catheterization of the left ventricle in 388 patients
N. Engl. J. Med. 274, 312-316, 1966

3. BARBEY K, BARBEY P:
Ein neuer Plethysmograph zur Messung der Extremitätendurchblutung
Z. Kreisl. Forsch. 52, 1129-1140, 1963

4. BASSETT FH III, LINCOLN CR, KING TD, CANENT RV Jr:
Inequality in the size of the lower extremity following cardiac catheterization
South. Med. J. 61, 1013-1017, 1968

5. BELL JW:
Treatment of post - catheterization arterial injuries
Ann. Surg. 155, 581-598, 1962

6. BETHGE KP, CALEYA D de, BARBEY K:
Methodische Aspekte zur pneumatischen Segmentplethysmographie
II. Das Problem der Staumanschettenbreite und des Staumanschettendrucks
Z. Kardiol. 64, 636-646, 1975

7. BIENMÜLLER H:
Frühdiagnostik obliterierender Gefäßerkrankungen
Med. Klin. 70, 1139-1147, 1975

8. BING RJ, VANDAM LD, GRAY FD:
Physiological studies in congenital heart disease I. Procedures
Bull. Hopkins Hosp. 80, 107, 1947
zitiert nach ROWE (63)

9. BLOOM JD, MOZERSKY DJ, BUCKLEY CJ, HAGOOD CO:
Defective limb growth as a complication of catheterization of the femoral artery
Surg. Gynecol. Obstet. 138, 524-526, 1974

10. BOLLINGER A:
Durchblutungsmessungen in der klin. Angiologie
H. Huber Verlag, Bern, 1969

11. BOLLINGER A, MAHLER F, ZEHENDER O:
Kombinierte Druck- und Durchflußmessungen in der Beurteilung arterieller Durchblutungsstörungen
Dtsch. med. Wschr. 95, 1039-1043, 1970

12. BOLLINGER A, BARAS JP, BRUNNER HH, CASTY M:
Beziehungen zwischen Fluß und Druck bei arterieller Verschlußkrankheit der unteren Extremitäten
in: KRIESSMANN A, BOLLINGER A:
Ultraschall-Doppler-Diagnostik in der Angiologie
Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 1978

13. BRAUNWALD E, SWAN HJC, (Hrsg.):
Cooperative study on cardiac catheterization
Circulation 37 (Suppl.III), 1-113, 1968

14. BRESLAU PJ, BRUINS SLOT H, GREEP JM:
Comparative study of strain gauge plethysmography and Doppler ultrasound in patients with occlusive arterial disease of the lower extremities
Angiology 32, 840-845, 1981

15. BUB J:
Normalwerte der Durchblutung und venösen Capazität des Fusses
Inauguraldissertation, Tübingen, 1965

16. BUCKBERG G, MOSS A:
Arteriotomie in children during cardiac catheterization
Am. J. Cardiol. 30, 659-661, 1972

17. CAHILL JL, TALBERT JL, OTTESEN OE, ROWE RD, HALLER JA:
Arterial complications following cardiac catheterization in infants and children
J. Pediatr. Surg. 2, 134-143, 1967

18. CALEYA D de, BETHGE KP, BARBEY K:
Methodische Aspekte zur pneumatischen Segmentplethysmographie
I. Das Problem der Lagerung und der distalen venösen Okklusion
Z. Kardiol. 64, 625-635, 1975

19. CAMPION BC, FRYE RL, PLUTH JR, FAIRBAIRN JF II, DAVIS GD:
Arterial complications of retrograde brachial arterial catheterization
Mayo Clin. Proc. 46, 589-592, 1971

20. CARTER GA, GIROD DA, HURWITZ RA:
Percutaneous cardiac catheterization of the neonate
Pediatrics 55, 662-665, 1975

21. CHAVEAU A, MAREY H:
Détermination graphique des rapports du choc du coer avec les mouvements des oreillettes et des ventricules; éxperience faite à l'aide de d'un appareil enregistreur (sphymographe)
Compt. rend. Acad. Sc. 53, 622, 1861
zitiert nach VLAD (82)

22. COURNAND A, BALDWIN JS, HIMMELSTEIN A:
Cardiac catheterization in congenital heart disease
The Commonwealth Fund, New York, 1949
zitiert nach ROWE (63)

23. COURNAND A, BING RJ, DEXTER L, DOTTER CT, KATZ LN, WARREN JV, WOOD EH:
Report of Commitee on cardiac catheterization and angiocardiography of the American Heart Association
Circulation 7, 769, 1953
zitiert nach ROWE (63)

24. COURNAND A, RANGES HA:
Catheterization of right auricle in man
Proc. Soc. Exp. Biol. Med. 46, 452, 1941
zitiert nach ROWE (63)

25. DAHN J:
On clinical use of venous occlusion plethysmography of calf
I. Methods and controls
Acta Chir. Scand. 130, 42-60, 1965

26. DEXTER L:
Cardiac catheterization in the diagnosis of congenital heart disease
Minnesota Med. 37, 116, 1954
zitiert nach ROWE (63)

27. DEXTER L, HAYNES FW, BURWELL CS, EPPINGER EC, SEIBEL RE, EVANS JM:
Studies of congenital heart disease
I. Technique of venous catheterization as a diagnostic procedure
J. Clin. Invest. 26, 547, 1947
zitiert nach ROWE (63)

28. DOWNING DF:
Cardiac catheterization in congenital heart disease
JAMA 170, 770-772, 1959

29. EHRINGER H:
Die reaktive Hyperämie nach arterieller Sperre
in: BOLLINGER A, BRUNNER U:
Meßmethoden bei arteriellen Durchblutungsstörungen
H. Huber Verlag, Bern, 1971

30. ENDRYS I, VOUSOF AM, ROSSLER J:
Percutaneous catheterization in newborn infants and older children
Ped. Cardiol. 1, 269-273, 1980

31. FORSSMANN W:
Die Sondierung des rechten Herzens
Klin. Wochenschr. 8, 2085-2087, 1929

32. GRAF K:
Auswertung und Meßfehler okklusionsplethysmografischer Durchblutungsregistrierungen
Acta physiol. scand. 60, 120-135, 1964

33. GRÜNTZIG A:
Die Ultraschall-Doppler-Methode in der angiologischen Diagnostik
Teil 1: Arterielle Durchblutungsstörungen
Med. Klin. 70, 2019-2026, 1975

34. HAMMERER I:
Das Risiko der Herzkatheter-Untersuchung
Eine retrospektive Auswertung der Komplikationen nach 700 Untersuchungen
IV. Gefäßkomplikationen
Paediatr. Paedol. 14, 405-414, 1979

35. HEBERER G, KÖLE W, TSCHERNE H:
Chirurgie
4. Auflage, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York, 1983

36. HILLESTAD LK:
The peripheral blood flow in intermittent claudication
Acta Med. Scand. 174, 23-41, 1963

37. HILLIS LD:
Percutaneous left heart catheterization and coronary arteriography using a femoral artery sheath
Cathet. Cardiovasc. Diagn. 5, 393-399, 1979

38. HOHN AR, GILLETTE P, WEBB HM:
Heart catheterization in infants and children
Experience with 250 procedures
J.S. Carolina Med. Ass. 66, 6-12, 1970

39. IZUKAWA T, VARGHESE PJ, ROWE RD:
Topical papaverine in arteriotomie in infants and children:
Effect on incidence of thrombosis
J. Pediat. 72, 853-854, 1968

40. JERESATY RM, LISS JP:
Effects of brachial artery catheterization on arterial pulse and blood pressure in 203 patients
Am. Heart J. 76, 481-485, 1968

41. KAPPERT A:
Lehrbuch und Atlas der Angiologie
9. Auflage, Verlag Hans Huber, Bern-Stuttgart-Wien, 1979

42. KIRSCHSIEPER HM, RUTENFRANZ J:
Bestimmung des arteriellen Blutdrucks
in: OPITZ H, SCHMID F:
Handbuch der Kinderheilkunde II/1
Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York, 1966

43. KÖHLER M, HINGER HU, ZAHNOW W:

Die Beurteilung der Kompensation bei chronischen Arterienverschlüssen mit Hilfe der Ultraschall-Doppler-Methode und der Venenverschlußplethysmographie

Z. Kreisl. Forsch. 61, 401-412, 1972

44. KÖHLER M, ZIELINSKI D:

Häufige Fehlerquellen bei der Bestimmung des peripheren systolischen Drucks mit Hilfe der Ultraschall-Doppler-Technik

in: HILD R, SPAAN G:

Therapiekontrolle in der Angiologie
Jahrestagung der dt. Gesellschaft für Angiologie
Heidelberg, 21.-23. September 1978

Verlag Gerhard Witzstrock, Baden-Baden, Köln, New York, 1979

45. KÖNIG FK:

Möglichkeiten und Grenzen der elektronischen Oszillographie

Med. Welt 27, 197-204, 1976

46. LEHTOVIRTA P, REKONEN A:

Peripheral blood flow of forearm in normal subjects evaluated by plethysmography and 133 Xe clearance at rest and during hyperaemia

Ann. Clin. Res. 6, 234-240, 1974

47. LEVIN AR:

The science of cardiac catheterization in the diagnosis of congenital heart disease

Cariovasc. Clin. 4, 235-273, 1973

48. LURIE PR, ARMER RM, KLATTE EC:

Percutaneous guide wire catheterization - diagnosis and therapy

Am. J. Dis. Child. 106, 189-196, 1963

49. MANSFIELD PB, GAZZANIGA AB, LITWIN SB:
Management of arterial injuries related to cardiac catheterization in children and young adults
Circulation 42, 501-507, 1970

50. MARCINSKY A, WERMENSKI K, WAGNER A:
Gefäßkomplikationen nach Arteriographie im Kindesalter Besonderheiten, Diagnostik, Prophylaxe
Fortschr. Röntgenstr. 129, 438-440, 1978

51. MAREY EJ:
Physiologie médicale de la circulation du sang
Paris, A. Delahaye, Libraire-Editeur, 1863
zitiert nach VLAD (82)

52. MOCELLIN R, SCHREIBER R, WÜNSCHMANN H, BÜHLMEYER K:
Komplikationen retrograder arterieller Katheteruntersuchungen bei Säuglingen und Kindern
Z. Kardiol. 71, 295-300, 1982

53. MORTENSSON W, HALLBÖÖK T, LUNDSTRÖM NR:
Strain gauge plethysmography for blood flow measurements in the legs of children
Pediatr. Radiol. 3, 29-33, 1975

54. MOSS AJ, ADAMS FH, EMMANOUILIDES GC:
Heart disease in infants, children and adolescents
Second edition, The Willians and Wilkins Co., Baltimore, 1977

55. MÜLLER US, SCHULTE H:
Ultraschall-Doppler-Technik in Korrelation zum elektronischen Oszillogramm
in: KRIESSMANN A, BOLLINGER A:
Ultraschall-Doppler-Diagnostik in der Angiologie
Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 1978

56. NECHES WH, MULLINS CE, WILLIAMS RL, VARGO TA, Mc NAMARA DG:
Percutaneous sheath cardiac catheterization
Am. J. Cardiol. 30, 378-384, 1972

57. NUSSER E, ASCHKE J:
Oszillographie und Oszillometrie
in: Studienreihe Boehringer Mannheim GmbH, C-1970

58. PUCHMAYER V, DRUGOVÁ B, ZAPLETALOVÁ J, ALBRECHT V, BULVAS M:
Die Zuverlässigkeit der Oszillographie und der Doppler-Sonographie in der Diagnostik der arteriellen Verschlußkrankheit im Vergleich zur Arteriographie
Z. Ges. Inn. Med. 35, 264-266, 1980

59. RAU G:
Untersuchungsverfahren
in: HEBERER G, RAU G, SCHOOP W:
Angiologie
2. Aufl., Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 1974

60. ROSENBERG N, KÖNIGSBERG SF, BROWN RE, FINKELSTEIN NM:
Delayed stenosing intimal fibrosis proximal to transbrachial arterial catheterization site: report of two cases
Am. Surg. 47, 459-462, 1981

61. ROSS RS:
Cooperative study on cardiac catheterization: Arterial complications
Circulation 37 (Suppl. III), 39-41, 1968

62. ROWE RD:
Cardiac catheterization in the newborn infant
Heart Bull. 9, 61-63 and 80, 1960

63. ROWE RD:
Cardiac catheterization
in: KEITH J, ROWE RD, VLAD P:
Heart disease in infancy and childhood
Third edition, Macmillan publishing Co., Inc. New York, 1978

64. RUDOFSKY G:
Die Doppler-Ultraschall-Untersuchung in der Praxis
Fa. Kranzbühler, Solingen, 1981

65. RUDOLPH AM, CAYLER GG:
Cardiac catheterization in infants and children
Pediatr. Clin. North Am. 5, 907-943, 1958

66. SACHS L:
Angewandte Statistik
5. Auflage, Springer-Verlag, Berlin-Hamburg-New York, 1978

67. SCHMALTZ AA, APITZ J, STEIL E, KEMTER BE, LEITRITZ H:
Spezielle Herzdiagnostik im 1. Lebensjahr
Indikationen-Ergebnisse-Komplikationen
Pädiat. prax. 14, 595-604, 1974

68. SCHOOP W:
Die Ultraschall-Doppler-Methode in der Diagnostik der arteriellen und venösen Störungen in den Extremitäten
Internist 17, 580-584, 1976

69. SCHOOP W:
Poststenotischer Knöchelarteriendruck in Ruhe und klinische Symptomatik
in: KRIESSMANN A, BOLLINGER A:
Ultraschall-Doppler-Diagnostik in der Angiologie
Georg Thieme Verlag, Stuttgart 1978

70. SCHRAMM A, WALTER J, BRAND W, WIESE K-H, FUCHS P, LINGG-HAGEN A:

Häufigkeit und Ausmaß von Stenosen der Arteria brachialis nach Arteriotomie im Rahmen einer Herzkatheteruntersuchung

Z. Kardiol. 69, 694, 1980

71. SCHÜTZ RM:

Beurteilung des Schweregrades peripherer arterieller Durchblutungsstörungen mit der Venenverschlußplethysmographie

in: BOLLINGER A, BRUNNER U:

Meßmethoden bei arteriellen Durchblutungsstörungen

Verlag H. Huber, Bern-Stuttgart-Wien, 1971

72. SCHÜTZ RM:

Beurteilung arterieller Funktionsreserven in Gliedmaßen

Urban & Schwarzenbeck, München-Berlin-Wien, 1975

73. SCHÜTZ RM, KUMMER D, RODE V:

Doppler-Ultraschall-Diagnostik in Korrelation zur Venenverschlußplethysmographie

in: KRIESSMANN A, BOLLINGER A:

Ultraschall-Doppler-Diagnostik in der Angiologie

Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 1978

74. SCHWEIZER R:

Angiologische Langzeitergebnisse bei Kindern nach retrograder Herzkatheterisierung über die Femoralarterien

Inauguraldissertation Tübingen (in Vorbereitung)

75. SEBOLDT H, HARTMANN S, HOFFMEISTER HE, SEYBOLD-EPTING W:

Langzeitergebnisse der operierten Aortenisthmusstenose

Therapiewoche 29, 4844-4856, 1979

76. SIMOVITCH H, HOHN AR, WAGNER HR, VLAD P, SUBRAMANIAN S, LAMBERT EC:

Percutaneous right and left heart catheterization in children
Experience with 1000 patients

Circulation 41, 513-517, 1970

77. SONES FM, Jr:

Heart catheterization in infancy
Physiological studies

Pediatries 16, 544-554, 1955

78. STANGER P, HEYMANN MA, TARNOFF H, HOFFMAN JIE, RUDOLPH AM:

Complications of cardiac catheterization of neonates infants and children
A three-year study

Circulation 50, 595-608, 1974

79. STECKELBERG JM, VLIETSTRA RE, LUDWIG J, MANN RJ:

Werner Forssmann (1904-1979) and his unusual success story

Conn. Med. 45, 110-112, 1981

80. STRANDELL T, WAHREN J:

Circulation in the calf at rest after arterial occlusion and after exercise in normal subjects and in patients with intermittent claudication

Acta Med. Scand. 173, 99-105, 1963

81. THULESIUS O:

Beurteilung des Schweregrades arterieller Durchblutungsstörungen mit dem Doppler-Ultraschall-Gerät

in: BOLLINGER A, BRUNNER U:

Meßmethoden bei arteriellen Durchblutungsstörungen

Verlag H. Huber, Bern-Stuttgart-Wien, 1971

82. VENGSARKAR AS, SWAN HJC:
Arteriotomy for cardiac catheterization and angiocardiography in infants and children
Proc. Mayo Clin. 37, 619-622, 1962

83. VLAD P, HOHN A, LAMBERT EC:
Retrograde arterial catheterization of the left heart Experience with 500 infants and children
Circulation 29, 787-793, 1964

84. VOCI G, HAMER NAJ:
Retrograde arterial catheterization of the left ventricle
Am. J. Cardiol. 5, 493-497, 1960

85. YAO ST, NEEDHAM TN, GOURMOOS C, IRVINE WT:
A comparative study of strain-gauge plethysmography and doppler ultrasound in the assessment of occlusive arterial disease of the lower extremities
Surgery 71, 4-9, 1972

86. ZIEGLER RF:
Clinical cardiac catheterization in infants and children
Pediatr. Clin. North Am. 1, 93-113, 1954

87. ZIESENHENN K:
Vergleichende Untersuchungen zur Aussagefähigkeit von Oszillographie und Venenverschlußplethysmographie bei der Diagnostik arterieller Verschlußkrankheiten
Z. Ges. Inn. Med. 32, 241-244, 1977

88. ZIMMERMANN HA, SCOTT RW, BECKER NO:
Catheterization of the left side of the heart in man
Circulation 5, 357, 1950
zitiert nach VLAD (82)

Für die Überlassung des Themas danke ich Herrn Professor Dr. J. Apitz.
Herrn PD. Dr. A. A. Schmaltz möchte ich für die sehr gute Betreuung und Zusammenarbeit bei der Anfertigung der Arbeit herzlich danken.
Ebenso möchte ich mich bei Herrn PD. Dr. H. Seboldt für die Beratung und Zusammenarbeit bei angiologischen Fragestellungen bedanken.
Mein Dank gilt auch den Mitarbeitern der kardiologischen Abteilung der Universitäts-Kinderklinik Tübingen und den Mitarbeitern der gefäßchirurgischen Ambulanz der Chirurgischen Universitätsklinik Tübingen, die mich bei den klinischen Untersuchungen unterstützt haben.
Herrn Prof. G. Schubring und seinen Mitarbeitern am Zentrum für Datenverarbeitung der Universität Tübingen möchte ich für die Beratung bei statistischen Fragestellungen und für die Durchführung der Berechnungen danken.
Nicht zuletzt gilt mein Dank all denen, die diese Arbeit wohlwollend mit Rat und Tat begleitet haben.

8. LEBENSLAUF

10.5.1958	Friedrich Paul Kirschbaum geboren in Creglingen / Main-Tauber-Kreis als drittes Kind des Ehepaars Friedrich Karl Kirschbaum und Elisabeth, geb. Gröber
1965 - 1968	Grundschule in Münchingen
1968 - 1973	Gymnasium in Korntal
1973 - 1977 3.5.1977	Aufbaugymnasium in Michelbach/Bilz Reifeprüfung
Oktober 1977 - Dezember 1977	Industriepraktikum in der Maschinenfabrik Ganzhorn + Stirn / Schwäbisch Hall - Hessental
Februar 1978 - März 1978	Krankenpflegepraktikum im Diakonie- Krankenhaus Schwäbisch Hall
April 1978	Beginn des Medizinstudiums an der Universität Tübingen
18.3.1980	Ärztliche Vorprüfung
26.3.1981	1. Abschnitt der ärztlichen Prüfung
26.8.1983	2. Abschnitt der ärztlichen Prüfung
17.10.1983 - 16.9.1984	Praktisches Jahr im Diakonissenkranken- haus Stuttgart (Wahlfach Pädiatrie im Olgahospital Stuttgart)
5.10.1984 18.10.1984	Schriftlicher Teil Mündlicher Teil des 3. Abschnitts der ärztlichen Prüfung

Druck Köhler Tübingen